UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

APLICACIÓN DE LA NORMA ASTM E950-09 PARA DETERMINAR LA REPETIBILIDAD Y PRECISIÓN EN UN PERFILÓMETRO INERCIAL MARK III - DYNATEST

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

SR. MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

SANGOLQUÍ, SEPTIEMBRE DE 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, Septiembre del 2013

_____	_____
ING. VERÓNICA REA LOZANO	ING. FRANCO ROJAS RÚALES
DIRECTORA	CODIRECTOR

REVISADO POR

_____

ING. JORGE ZÚÑIGA G.

AUTORIZACIÓN

YO, MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

Autorizo a la Universidad Fuerzas Armadas - ESPE la publicación en la biblioteca virtual del trabajo **"APLICACIÓN DE LA NORMA ASTM E950-09 PARA DETERMINAR LA REPETIBILIDAD Y PRECISIÓN EN UN PERFILÓMETRO INERCIAL MARK III - DYNATEST"**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Septiembre del 2013

_____

MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

SR. MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

DECLARO QUE:

El Proyecto de grado denominado **"APLICACIÓN DE LA NORMA ASTM E950-09 PARA DETERMINAR LA REPETIBILIDAD Y PRECISIÓN EN UN PERFILÓMETRO INERCIAL MARK III -DYNATEST"**, ha sido desarrollado con base a la investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente éste trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Septiembre del 2013

_____

MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

DEDICATORIA

La consecución de este trabajo quiero dedicarla a Dios quien ha sido la guía espiritual que ha marcado mi diario vivir.

Merecen mis eternos agradecimientos mis padres, quienes sin lugar a duda han sido el mayor soporte y mi ejemplo de amor, comprensión y diaria lucha por conseguir los objetivos marcados.

A mis hermanos, de quienes siempre he recibido apoyo incondicional y han estado en todo momento junto a mí.

MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber puesto a mis padres como guías y maestros de mi diario vivir. Ellos han sido quienes me han brindado la oportunidad de crecer como una persona de bien.

Así mismo, quiero expresar mi sentido agradecimiento a mis tíos Cecilia del Carmen, Hernán Federico y Edison Ernesto Paredes Carrera, quienes a lo largo de toda mi vida me han demostrado su cariño y comprensión.

Mención especial merecen las valiosas enseñanzas recibidas de parte del Ingeniero Isaac Trujillo, Presidente de la Empresa PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA., quien me ha impartido sus conocimientos y se ha convertido en el mejor maestro, así también, al Ingeniero Rodrigo del Salto, Gerente General de la mencionada Empresa, quien me ha facilitado el uso del equipo empleado para el desarrollo del presente estudio.

I cannot put aside my second family the Plank´s, who welcomed me and treated me like a member of the family. I thank you for teaching me to grow up and for all the advice you have given me.

To whom I can now call my friend Randy Milton, Production Manager at Dynatest Consulting Inc., I thank you for always being there to help me and answer all my questions in the development of this paper.

MARIO ALEJANDRO MANOSALVAS PAREDES

ÍNDICE DE CONTENIDOS

No. página

CERTIFICACION …… II

AUTORIZACION …..……..……... III

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD ……...…... IV

DEDICATORIA ..…..……..……... V

AGRADECIMIENTO ……..……... VI

ÍNDICE DE CONTENIDOS ……..……..……... VII

LISTADO DE TABLAS ……..…...… XI

LISTADO DE FIGURAS ……..……..…… XIV

EXTRACTO …… XXI

ABSTRACT ……..... XXII

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN …….. 1

1.1.1 Antecedentes …… 1

1.1.2 Área de influencia …… 1

1.1.3 Objetivo general del estudio …….. 2

1.1.4 Objetivos específicos del estudio …… 2

1.1.5 Justificación del proyecto …… 3

1.2 GENERALIDADES …… 7

1.2.1 Definición de Rugosidad …….. 7

1.2.2 Importancia de la Rugosidad en las vías …….. 8

1.2.3 Clasificación de las vías según el nivel de Rugosidad ……. 11

1.2.4 Determinación de la velocidad de tránsito del Perfilómetro …….. 15

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 Selección del tramo a ser evaluado por Precisión / Repetibilidad …… 16

2.1.1 Ubicación del tramo …….. 17

2.2 Estudios Topográficos …….. 18

2.2.1 Levantamiento topográfico del tramo seleccionado …. 19

2.2.2 Cálculo del IRI a partir del perfil …… 25

CAPÍTULO III: UTILIZACIÓN DEL PERFILÓMETRO INERCIAL MARK III

3.1 Introducción a los Perfilómetros Inerciales …… 33

3.2 Características del Perfilómetro Inercial Mark III …….. 34

3.2.1 Barra Transductora …… 35

3.2.2 Sensor Láser …… 36

3.2.3 Acelerómetro …… 37

3.2.4 Foto Sensor …… 38

3.2.5 Láser de Ahuellamiento …… 39

3.2.6 Odómetro …… 39

3.2.7 Unidad de Procesamiento de Datos (DPU) ……... 40

3.2.8 Unidad de Geo Posicionamiento (GPS) ……. 41

3.2.9 Cámara ……. 42

3.3 Aplicación de la Norma ASTM E 950-09 …….. 42

3.3.1 Medición del tramo con el Perfilómetro Inercial Mark III .. 54

3.4 Medición de IRI en la Ruta E28 …….. 68

3.4.1 Introducción …….. 68

3.4.2 Metodología ……. 70

3.4.3 Evaluación de la Ruta E28 …… 70

CAPÍTULO IV: PROVAL (Profile Viewing and AnaLysis)

4.1 Introducción al Programa ProVAL …….. 74

4.2 Utilización del software ProVAL en el tramo de

Prueba …….. 74

4.2.1 Ingreso del perfil obtenido con mira y nivel …….. 75

4.2.2 Obtención de IRI con el perfil topográfico ……. 75

4.2.2.1 Cálculo de IRI cada 50 metros …….. 75

4.2.2.2 Cálculo de IRI cada 100 metros ……... 76

4.2.2.3 Cálculo de IRI cada 200 metros …… 76

4.2.2.4 Cálculo de IRI del tramo …….. 77

4.2.3 Obtención de IRI con el perfilómetro inercial

Mark III ……. 77

4.2.3.1 Cálculo de IRI cada 50 metros ……... 78

4.2.3.2 Cálculo de IRI cada 100 metros …… 78

4.2.3.3 Cálculo de IRI cada 200 metros …… 79

4.2.3.4 Cálculo de IRI del tramo …….. 79

4.3 Utilización del software ProVAL en la Ruta E28 ……... 80

4.3.1 Cálculo de IRI cada 100 metros …… 81

4.3.2 Cálculo de IRI cada 200 metros …… 83

4.3.3 Cálculo de IRI cada 500 metros ……... 85

4.3.4 Cálculo de IRI cada 1000 metros …….. 87

4.3.5 Ubicación GPS de los cálculos en el Ítem 4.3.4 ……. 89

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 Introducción ……. 102

5.2 Metodología ……. 102

5.3 Cálculos …… 102

5.3.1 Relaciones de IRI de acuerdo a la longitud del segmento analizado …….. 102

5.4 Resultados ……..… 106

5.4.1 Determinar la condición de la Ruta E28, de acuerdo al Documento Técnico de Concesiones MOP ……... 106

5.4.2 Rehabilitación de la Ruta E28 …… 107

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones …….. 129

6.2 Recomendaciones ……. 132

6.3 Bibliografía …… 134

ÍNDICE DE TABLAS

No. página

Tabla 1.1	Ubicación geográfica del tramo de prueba …….	4
Tabla 1.2	Escala de serviciabilidad según PSR ……..	9
Tabla 1.3	Condición de umbral de rugosidad para Interestatales, FHWA …….	11
Tabla 1.4	Rangos aceptables condición calzada ……	14
Tabla 2.1	Ubicación geográfica del tramo ……	17
Tabla 2.2	Ubicación Geo-referenciada del tramo ……..……	18
Tabla 2.3	Coordenadas geográficas punto auxiliar No. 1 ……...	20
Tabla 2.4	Coordenadas geográficas Estación No. 1 ……...	21
Tabla 2.5	Coordenadas geográficas Estación No. 2 y No. 3 …..…	22
Tabla 4.1	IRI cada 50 metros, promedio del tramo 3.10 m/km …..	75
Tabla 4.2	IRI cada 100 metros, promedio del tramo 2.99 m/km ….	76
Tabla 4.3	IRI cada 200 metros, promedio del tramo 3.07 m/km ….	77
Tabla 4.4	IRI del tramo …….	77
Tabla 4.5	IRI cada 50 metros, promedio del tramo 1.65 m/km …..	78
Tabla 4.6	IRI cada 100 metros, promedio del tramo 1.71 m/km ….	79
Tabla 4.7	IRI cada 200 metros, promedio del tramo 1.66 m/km ….	79
Tabla 4.8	IRI del tramo ……..…	79
Tabla 4.9	Escala de colores en función del IRI ……..…	89

Tabla 4.10 Condición del pavimento. Sentido: Mitad del Mundo-La Independencia ……... 90

Tabla 4.11 Condición del pavimento. Sentido: La Independencia-Mitad del Mundo …….. 97

Tabla 5.1 Coeficiente de variabilidad. Sentido: Mitad del Mundo-La Independencia ……. 103

Tabla 5.2 Coeficiente de variabilidad. Sentido: La Independencia-Mitad del Mundo ……. 104

Tabla 5.3 Variabilidad de acuerdo a longitud del análisis …… 104

Tabla 5.4 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros ……. 109

Tabla 5.5 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros ……. 111

Tabla 5.6 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros ……. 112

Tabla 5.7 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros …… 114

Tabla 5.8 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros …….. 115

Tabla 5.9 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros ……. 117

Tabla 5.10 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros ……. 118

Tabla 5.11 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros ….. 120

Tabla 5.12 Rugosidad crítica, Sentido: Mitad del Mundo-La Independencia ……... 124

Tabla 5.13 Rugosidad crítica, Sentido: La Independencia-Mitad del Mundo ……..… 124

Tabla 5.14 Longitud de mantenimiento, Sentido: Mitad del Mundo-La Independencia …….. 124

Tabla 5.15 Longitud de mantenimiento, Sentido: La Independencia-Mitad del Mundo ……..... 125

Tabla 5.16 Volumen de trabajo a rehabilitar ……... 128

Tabla 5.17 Costo por trabajos de fresado …….. 128

Tabla 5.18 Costo por trabajos de tendido de carpeta asfáltica …… 128

ÍNDICE DE FIGURAS

No. página

Figura 1.1	Vista espacial del tramo seleccionado para realizar las pruebas de Repetibilidad y Precisión ……..	5
Figura 1.2	Vista 3D del tramo seleccionado para realizar las pruebas Repetibilidad y Precisión ……	6
Figura 1.3	Definición gráfica de Rugosidad ……..….	7
Figura 1.4	Escala de un pavimento según el índice de Rugosidad Internacional (IRI) ……..	13
Figura 1.5	Recomendaciones de Transportation Research Board (TRB) Para la selección de valores máximos admisibles de IRI en Función del TPDA ……..	14
Figura 2.1	Inicio del tramo de análisis ……...	16
Figura 2.2	Fin del tramo de análisis ……...	17
Figura 2.3	División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito ..	18
Figura 2.4	Personal empleado en el levantamiento topográfico ….	19
Figura 2.5	Estación Total Trimble 3300 Dr. ……	19
Figura 2.6	Ubicación del Punto Auxiliar No. 1 ……..…..	20
Figura 2.7	Señalización de los puntos cada 0.30 metros en el pavimento ……..…	21
Figura 2.8	Medición del perfil longitudinal del pavimento ……	22
Figura 2.9	Nivelación Ruta E28 Geo-referenciada ……	23
Figura 2.10	Representación del perfil topográfico del pavimento ….	24

Figura 2.11 Representación del Modelo de Cuarto de Carro …… 26
Figura 2.12 Datos de entrada ProVAL …….. 27
Figura 2.13 IRI promedio de 3.1 m/km, análisis cada 50 metros, límite de 2.0 m/km de acuerdo a normativa de concesiones ……... 28
Figura 2.14 IRI promedio de 3.1 m/km, análisis cada 50 metros, límite de 3.0 m/km de acuerdo a normativa de concesiones ……... 29
Figura 2.15 IRI promedio de 3.1 m/km, análisis cada 50 metros, límite de 3.5 m/km de acuerdo a normativa del Banco Mundial …… 30
Figura 2.16 Representación del levantamiento opográfico cada 30 centímetros …….. 31
Figura 2.17 Perfilómetro Inercial Mark III utilizado ……. 32
Figura 3.1 Barra Transductor …….. 35
Figura 3.2 Sensor Láser ……... 36
Figura 3.3 Acelerómetro …… 37
Figura 3.4 Foto Sensor …….. 38
Figura 3.5 Laser de Ahuellamiento …….. 39
Figura 3.6 Odómetro …….. 40
Figura 3.7 Unidad de Procesamiento de Datos ……. 41
Figura 3.8 GPS …… 41
Figura 3.9 Cámara ……... 42
Figura 3.10 Calibración de los Sensores Láseres …… 43
Figura 3.11 Respuesta de los Láseres cuando se encuentran sobre la barra metálica ……..... 43

Figura 3.12 Comprobación de los sensores láseres …… 44
Figura 3.13 Ubicación de los acelerómetros respecto a la barra Transductora …… 45
Figura 3.14 Verificación de los acelerómetros …… 46
Figura 3.15 Acelerómetros antes de iniciar la calibración ……. 47
Figura 3.16 Acelerómetros desmontados y nivelados, al revés de su posición ……..……... 47
Figura 3.17 Nuevos valores aceptados para los acelerómetros cuando se encuentran al revés ……..... 48
Figura 3.18 Acelerómetros desmontados y nivelados en posición normal …….. 48
Figura 3.19 Nuevos valores aceptados para los aceleró metros cuando se encuentran en su posición normal ……..…. 49
Figura 3.20 Posición de los acelerómetros luego de la calibración .. 50
Figura 3.21 Inicio del tramo de calibración Km 0+000 …… 51
Figura 3.22 Pantalla de inicio para realizar la calibración …….. 51
Figura 3.23 Pantalla final de la calibración …… 52
Figura 3.24 Segunda pantalla de inicio para la calibración …… 53
Figura 3.25 Segunda pantalla final de la calibración ……..… 53
Figura 3.26 Fin del tramo de calibración Km 1+000 ……..…. 54
Figura 3.27 Configuración establecida para tramo de prueba ..…… 55
Figura 3.28 Medición del tramo de prueba ……. 55
Figura 3.29 Perfil longitudinal de la prueba No. 1 en la huella derecha ……..….. 56
Figura 3.30 Perfil longitudinal de la prueba No. 2 en la huella derecha ……. 57

Figura 3.31 Perfil longitudinal de la prueba No. 3 en la huella derecha ……..…. 58

Figura 3.32 Perfil longitudinal de la prueba No. 4 en la huella derecha ……... 59

Figura 3.33 Perfil longitudinal de la prueba No. 5 en la huella derecha ……..…... 60

Figura 3.34 Perfil longitudinal de la prueba No. 6 en la huella derecha ……..… 61

Figura 3.35 Perfil longitudinal de la prueba No. 7 en la huella derecha …… 62

Figura 3.36 Perfil longitudinal de la prueba No. 8 en la huella derecha ……..…. 63

Figura 3.37 Perfil longitudinal de la prueba No. 9 en la huella derecha ……..…. 64

Figura 3.38 Perfil longitudinal de la prueba No. 10 en la huella derecha ……..….. 65

Figura 3.39 Perfil longitudinal de las diez pruebas realizadas en la huella derecha ……..…. 66

Figura 3.40 Tabla 1: Muestreo longitudinal ……... 67

Figura 3.41 Tabla 2: Resolución de Medida Vertical …… 67

Figura 3.42 Inicio del tramo Km 0+000 ……..... 68

Figura 3.43 Fin del tramo Km 160+700 ……. 68

Figura 3.44 Ruta E28 Geo Referenciado …… 69

Figura 3.45 Configuración para medir la Ruta E28 ……. 70

Figura 3.46 Perfil longitudinal cada 500 metros ……..…… 72

Figura 3.47 Perfil longitudinal cada 500 metros ……..… 73

Figura 4.1 IRI cada 50 metros …… 75

Figura 4.2 IRI cada 100 metros …… 76

Figura 4.3 IRI cada 200 metros …… 76

Figura 4.4 IRI cada 50 metros ……... 78

Figura 4.5 IRI cada 100 metros …….. 78

Figura 4.6 IRI cada 200 metros ……... 79

Figura 4.7 IRI cada 100 metros, Mitad del Mundo-La Independencia, promedio del tramo 1.65 m/km ……..… 81

Figura 4.8 IRI cada 100 metros, La Independencia-Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km …….. 82

Figura 4.9 IRI cada 200 metros, Mitad del Mundo-La Independencia, promedio del tramo 1.65 m/km …….. 83

Figura 4.10 IRI cada 200 metros, La Independencia-Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km …….. 84

Figura 4.11 IRI cada 500 metros, Mitad del Mundo-La Independencia, promedio del tramo 1.66 m/km ……..…… 85

Figura 4.12 IRI cada 500 metros, La Independencia-Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km ……..… 86

Figura 4.13 IRI cada 1000 metros, Mitad del Mundo- La Independencia, promedio del tramo 1.65 m/km …..…… 87

Figura 4.14 IRI cada 1000 metros, La Independencia-Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km ….. 88

Figura 4.15 Condición del pavimento Km 19+000 – Km 20+000 ……. 94

Figura 4.16 Condición del pavimento Km 33+000 – Km 34+000 ……. 94
Figura 4.17 Condición del pavimento Km 33+000 – Km 34+000 …….. 94
Figura 4.18 Condición del pavimento Km 83+000 – Km 84+000 …… 95
Figura 4.19 Condición del pavimento Ruta E28, Sentido: Mitad del Mundo-La Independencia ……. 96
Figura 4.20 Condición del pavimento Ruta E28, sentido: La Independencia- Mitad del Mundo ……..… 101
Figura 5.1 Expresión algebraica para obtener el IRI ……..... 103
Figura 5.2 Diferencias acumuladas de IRI cada 100 metros …..… 108
Figura 5.3 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros …..… 109
Figura 5.4 Diferencias acumuladas IRI cada 200 metros …… 110
Figura 5.5 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros …… 110
Figura 5.6 Diferencias acumuladas IRI cada 500 metros ……..… 111
Figura 5.7 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros …… 112
Figura 5.8 Diferencias acumuladas IRI cada 1000 metros …….. 113
Figura 5.9 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros ……. 113
Figura 5.10 Diferencias acumuladas IRI cada 100 metros ……. 114
Figura 5.11 Secciones homogéneas IRI cada 100 metros …… 115
Figura 5.12 Diferencias acumuladas IRI cada 200 metros ……..… 116
Figura 5.13 Secciones homogéneas IRI cada 200 metros …… 116
Figura 5.14 Diferencias acumuladas IRI cada 500 metros …… 117
Figura 5.15 Secciones homogéneas IRI cada 500 metros …… 118

Figura 5.16 Diferencias acumuladas IRI cada 1000 metros ……. 119

Figura 5.17 Secciones homogéneas IRI cada 1000 metros ……. 119

Figura 5.18 Condición del pavimento Ruta E28, sentido: Mitad del Mundo-La Independencia a intervalo de 100 metros ……. 122

Figura 5.19 Condición del pavimento Ruta E28, sentido: La Independencia-Mitad del Mundo a intervalo de 100 metros ……. 123

Figura 5.20 APU Fresado de pavimento asfáltico …… 126

Figura 5.21 APU Capa de Rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta 0.05 m …… 127

EXTRACTO

En este documento se encuentra la aplicación de la Norma Americana ASTM E 950-09 para determinar Repetibilidad / Precisión y Sesgo para los diferentes perfilómetros inerciales que se tengan a disposición a nivel nacional e internacional, no solo para el equipo utilizado en este estudio que es un RSP Mark III - Dynatest.

Se seleccionará un tramo de 350 metros de la Ruta E28 “Mitad del Mundo – La Independencia” donde se medirá 10 veces el perfil longitudinal de la vía utilizando el perfilómetro antes mencionado; complementariamente se realizará la nivelación del tramo con el fin de determinar la clasificación del perfilómetro bajo las condiciones del tramo seleccionado, se medirá completamente la Ruta E28 en los dos sentidos y mediante el Apéndice “J” de la AASHTO se realizarán secciones homogéneas para los diferentes intervalos de medición, de esta forma se realizará un plan de rehabilitación con el cual se reducirá el Índice de Rugosidad Internacional “IRI” en los tramos que superen los límites establecidos por el Documento Técnico del MOP el cual es utilizado por Concesiones de Carreteras.

Para determinar el costo económico que será empleado en el plan de rehabilitación, se utilizarán los rubros que se manejan actualmente en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas “MTOP” en la Dirección de Estudios – Unidad de Costos.

ABSTRACT

This document contains the application of “American Standard ASTM E 950-09” to determine the Repeatability / Accuracy and Bias for different inertial profilers available at national and international level not only for the equipment used in this study the “RSP Mark III – Dynatest”.

The study will be developed on a 350-meter stretch of Route E28 "Mitad del Mundo - La Independencia". It will measure 10 times the longitudinal profile of the road using the profilometer described before and in addition we will level the stretch to determines the conditions of the section in study it will measure the entire Route E28 in both directions and following the Appendix "J" by the AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) will make uniform sections for different measured intervals. After this, will do a “rehabilitation plan” which is made to reduce the International Roughness Index "IRI" in sections that exceed the limits established by the “Documento Técnico del MOP” which is used to concession highways at Ecuador.

To determine the economic cost that will be spent on the “rehabilitation plan” will be based on the items that are currently handled by the “Ministerio de Transporte y Obras Publicas” (MTOP) at “Direccion de Estudios – Unidad de Costo”.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. Antecedentes

Desde mediados de la década de los años noventa, se ha venido utilizando en la mayoría de países del mundo sistemas de Perfilómetros Inerciales Laser para la evaluación del perfil longitudinal del pavimento. En la actualidad, el uso y manejo de dichos perfilómetros, se ha vuelto una herramienta imprescindible para la evaluación de pavimentos, debido a que cada país tiene una escala de valores con la cual clasifican el nivel de servicio de las vías.

La Universidad Fuerzas Armadas – ESPE y el señor Mario Alejandro Manosalvas Paredes, con el ánimo de contribuir de una manera desinteresada al desarrollo tecnológico y científico del país, se han propuesto probar la Precisión / Repetibilidad en un equipo Mark III mediante la norma americana ASTM E950-09.

1.1.2. Área de influencia

La determinación de Precisión / Repetibilidad en equipos destinados a la medición de perfiles longitudinales, llevará a determinar el Índice de

Rugosidad Internacional "IRI"[1], será de gran utilidad para el Ministerio de Transporte y Obras Públicas "MTOP"[2], ingenieros planificadores, ejecutores de mantenimiento vial y constructores viales, debido a que las especificaciones de construcción del MTOP establecen límites máximos de tolerancia del IRI de acuerdo al tipo de carretera que se esté analizando. Este estudio podrá ser utilizado como una herramienta para calificar a los diversos equipos a nivel nacional, a fin de que se pueda garantizar la calidad de los resultados obtenidos del perfil longitudinal.

1.1.3. Objetivo general del estudio

El objetivo general de esta tesis, es que el Ministerio de Transporte y Obras Públicas "MTOP" así como las empresas de Consultoría Vial, tengan una herramienta para poder calificar la precisión de los diferentes equipos de medición a nivel nacional, tomando como referencia el presente estudio.

1.1.4. Objetivos específicos del estudio

a) Determinar si el equipo cumple los requerimientos para ser considerado un perfilómetro inercial Clase I, de acuerdo a la norma ASTM E 950-09[3].

---

1 Siglas para el Índice de Rugosidad Internacional.
2 Siglas para el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en Ecuador.
3 Norma ASTM E950-09: "***Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference".***

b) Determinar la Precisión / Repetibilidad del perfilómetro inercial Mark III en una sección de la Ruta E28[4].

c) Determinar el Índice de Rugosidad Internacional IRI a lo largo de toda la Ruta E28 para los dos sentidos de la vía.

d) Mediante el "Documento Técnico MOP, Concesión de Carreteras"[5], determinar el orden en que se encuentra la Ruta E28.

e) Proponer un plan de Mantenimiento para aquellos tramos que superen el límite permitido por el Documento Técnico del MOP.

1.1.5. Justificación del proyecto

En vista que el Ministerio de Transporte y Obras Públicas "MTOP" y los consultores viales a nivel nacional no disponen de una metodología para certificar la calidad de los equipos, este estudio, en base a la norma americana ASTM E 950-09 presentará un proceso de calificación.

Este estudio se lo realizará en un tramo de la Ruta E28, como se indica en la Tabla 1.1, Figura 1.1 y 1.2.

[4] Nomenclatura asignada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas a la carretera La Independencia – Redondel del Condado.

[5] Infraestructura Vial digital. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com_content&view=article&id=267&Itemid=269.

Tabla No. 1.1 Ubicación geográfica del tramo de prueba[6]

ABSCISA	LATITUD	LONGITUD
19+490	0.0038869	-78.4904444
19+520	0.0038692	-78.4906311
19+540	0.0038519	-78.4908178
19+560	0.0038342	-78.4910044
19+580	0.0038153	-78.4912
19+600	0.0037967	-78.4913956
19+630	0.0037753	-78.4915911
19+650	0.0037542	-78.4917956
19+670	0.0037339	-78.4919911
19+690	0.0037131	-78.4921956
19+720	0.0036936	-78.4924
19+740	0.0036742	-78.4926044
19+760	0.0036544	-78.4928089
19+780	0.0036347	-78.4930133
19+810	0.0036156	-78.4932267
19+830	0.0035956	-78.4934311

[6] Se tiene como abscisa inicial Km 0+000 a el Redondel de la Mitad del Mundo, desde ahí se hace referencia a la Tabla 1.1.

Figura No. 1.1 Vista espacial del tramo seleccionado para realizar las pruebas de Repetibilidad y Precisión

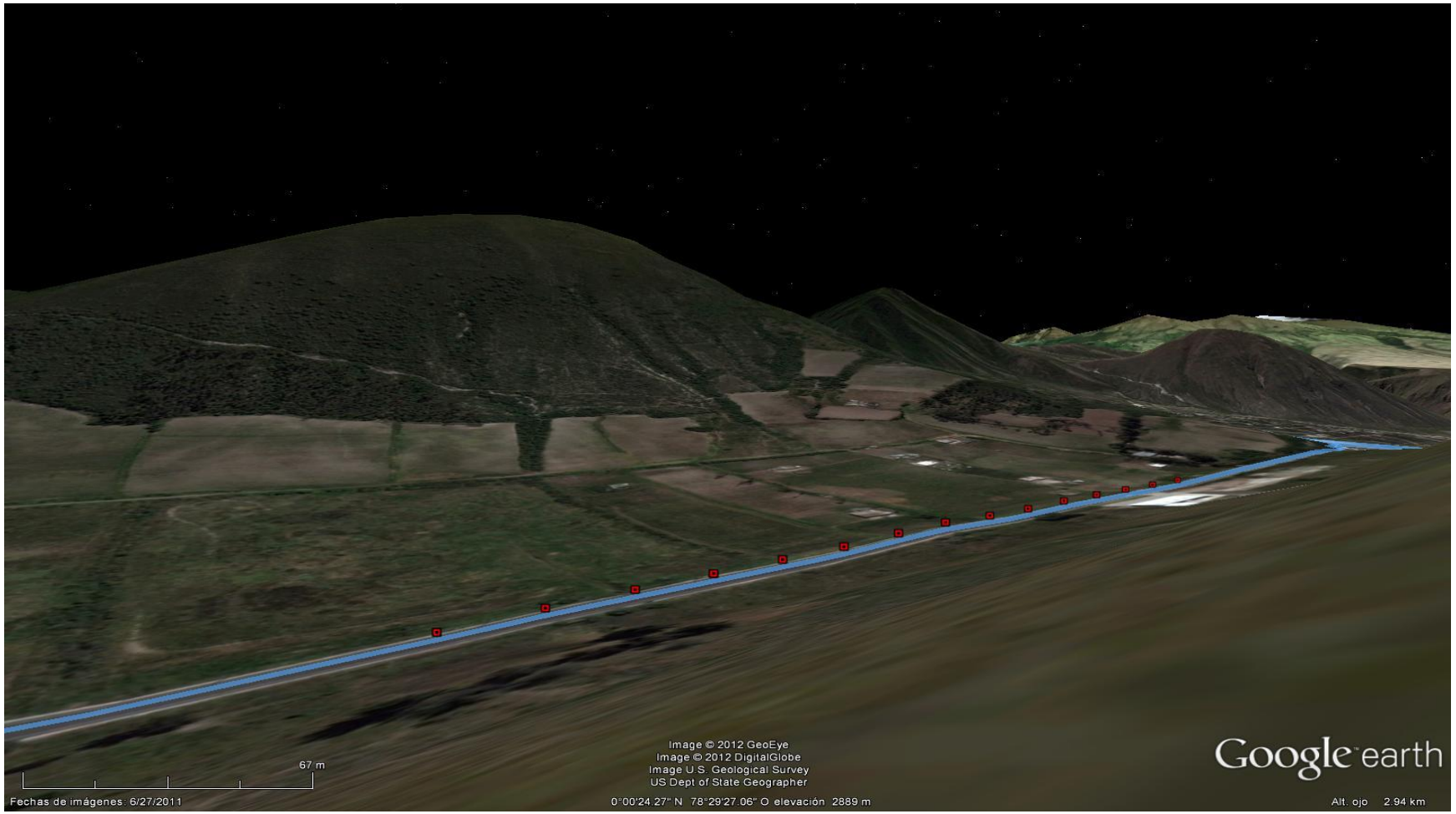

Figura No. 1.2 Vista 3D del tramo seleccionado para realizar las pruebas de Repetibilidad y Precisión

1.2 GENERALIDADES

1.2.1 Definición de Rugosidad

La norma americana E 867[7] de la ASTM (American Society of Testing and Materials), define la rugosidad como las desviaciones entre una superficie de pavimento y una superficie plana con dimensiones características que afecten la dinámica del vehículo, calidad en el desplazamiento, cargas dinámicas y drenaje, tal como, perfil longitudinal y perfil transversal.

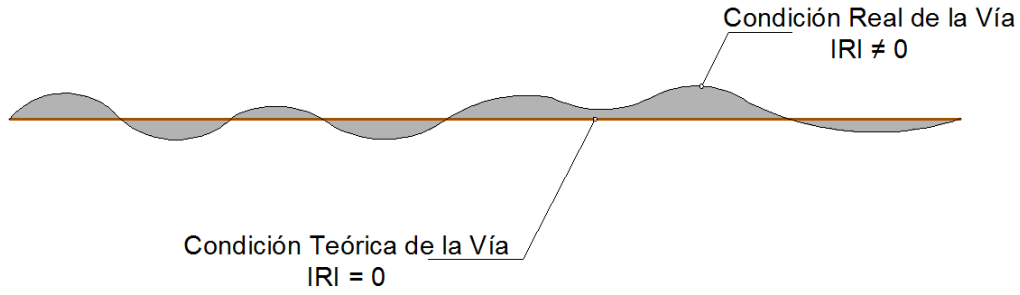

Figura No. 1.3 Definición gráfica de Rugosidad

La rugosidad puede también ser definida como la distorsión de la superficie del pavimento que transmite aceleraciones verticales no deseadas en el vehículo que contribuyen a un desplazamiento incómodo y no deseable.

---

[7] NORMA ASTM E867: ***Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems.***

Hay varios factores que contribuyen a la rugosidad del pavimento:

- Cargas de tráfico,
- Efectos ambientales,
- Materiales, y
- Prácticas de construcción.

La rugosidad del pavimento, es el factor de mayor relevancia en los análisis de calidad del camino versus costos de usuarios; en efecto, tiene directa influencia en la comodidad del usuario; costos de operación de los vehículos (consumo de combustible, desgaste); efectos sobre las mercancías transportadas y en las cargas dinámicas transmitidas por los vehículos pesados.

Últimamente la evaluación de la rugosidad de pavimentos, a través del cálculo de IRI, ha cobrado una gran importancia debido a que es uno de los indicadores exigidos a los concesionarios que postulan bajo bases de licitación. En la actualidad el valor de IRI es limitado al inicio y durante la operación de los tramos de carretera, esto a modo de asegurar el nivel de comodidad a los usuarios y establecer las sanciones que corresponda aplicar en el caso de incumplimiento.

1.2.2 Importancia de la Rugosidad en las vías

Las vías terrestres, además de ser medios de comunicación indispensable para los usuarios, deben permitir desplazamientos rápidos,

seguros y cómodos. Considerando estos aspectos, la AASHO (*American Association of State Highway Officials)*, en el desarrollo del proyecto Road Test en 1962, introdujo el concepto de Serviciabilidad, la cual debe ser definida en relación al propósito de un pavimento construido, esto es, proveer un viaje confortable, seguro y suave a los usuarios. En otras palabras, la serviciabilidad debe estar explícitamente relacionada con los usuarios.

En el ensayo de la AASHO, la serviciabilidad se cuantificó inicialmente a través del PSR (*Present Serviciability Rating)*, el cálculo de este índice se realizó por medio de una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, de esta evaluación surgió una nueva escala que calificó la calidad de ruedo con valores entre cero y cinco. Ver Tabla No. 1.2.

Tabla No. 1.2 Escala de serviciabilidad según PSR

0-1	Muy Malo
1-2	Malo
2-3	Regular
3-4	Bueno
4-5	Muy Bueno

En vista que dicha metodología contenía aspectos subjetivos, dentro del proyecto de la AASHO Road Test, se analizaron correlaciones entre el PSR

y mediciones objetivas de la condición del pavimento, lo cual contribuyó a determinar el PSI (*Present Serviciability Index)*.

De esta forma fue posible estimar el PSI como una función de variables como el SV (*Slope Variance)*, la cual corresponde a la varianza de las medidas del desnivel del perfil longitudinal y los daños o fallas presentes en el pavimento.

El PSI originalmente fue definido a través de la siguiente expresión:

- Para pavimentos flexibles:

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1 + SV) - 1.38RD^2 - 0.01\sqrt{C + P}$$

- Para pavimentos rígidos:

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09\sqrt{C + P}$$

Donde:

PSI = Índice de serviciabilidad presente.

SV = Promedio de la variación de la pendiente.

RD = Profundidad media del ahuellamiento.

C = Área con agrietamientos del tipo piel de cocodrilo.

P = Baches.

Existe una fórmula muy usada que relaciona el IRI con el PSR donde:

$$PSR = 5 * e^{-0.26*(IRI)}$$

Correlación reportada en 1992 en Illinois por Al-Omari y Darter (1992), con una correlación $R^2 = 0.73$

Por lo tanto, usando la fórmula anteriormente mencionada podemos establecer un índice de servicio similar al establecido por AASHO para evaluar la condición de un pavimento, pero considerando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Tabla No. 1.3 Condiciones de umbral de rugosidad para Interestatales, FHWA [8]

Condición	PSR	IRI	Calidad de Manejo NHS
Muy Bueno	≥ 4.0	< 0.95 m/km	Aceptable ≤ 2,68 m/km
Bueno	3.5 - 3.9	0,95 – 1,48 m/km	
Regular	3.1 - 3.4	1.50 – 1.88 m/km	
Pobre	2.6 - 3.0	1.89 – 2.68 m/km	
Muy Pobre	≤ 2.5	> 2.68 m/km	No Aceptable > 2.68 m/km

1.2.3 Clasificación de las vías según el nivel de Rugosidad

Actualmente la rugosidad superficial de un pavimento se mide por medio del Índice de Rugosidad Internacional, más conocido como IRI, el cual se ha definido matemáticamente como la suma de irregularidades verticales (en valor absoluto), de la superficie de rodamiento de un camino con respecto a una superficie plana ideal, dividida entre la distancia recorrida.

[8] FHWA: Federal Highway Administration.

El IRI fue concebido como una unidad universal para medir la rugosidad de un pavimento, cuyas medidas se dan en metros por kilómetro “m. /km.” o pulgada por milla “pulg./milla.”, en la Figura 1.5, se muestra los valores típicos de IRI para distintos tipos de estructuras de pavimento.

Es importante mencionar que cuando existe un mayor tránsito, o se tienen velocidades importantes, los autos requieren menores niveles de IRI por el impacto que tiene en el costo de mantenimiento vial y de los autos. Ver Figura 1.6.

De acuerdo a la Figura 1.7 del Documento Técnico de Concesiones de carreteras en Ecuador, la clasificación se basa en la consideración del TPDA[9], así, para el tramo seleccionado de estudio se deberá tener un valor máximo de rugosidad de 3.0 m/km.

[9] TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual).

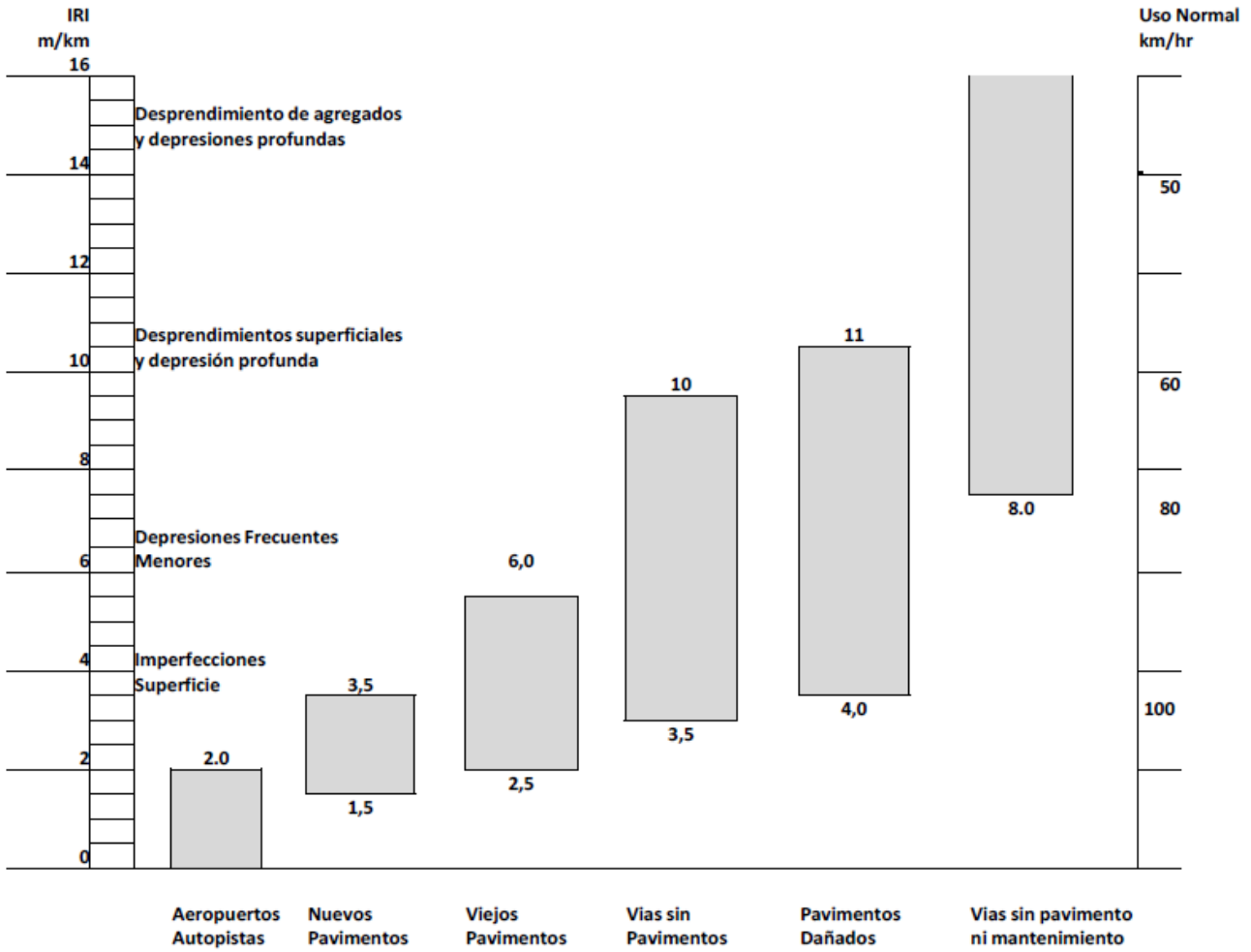

Figura No. 1.4 Escala de un pavimento según el Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

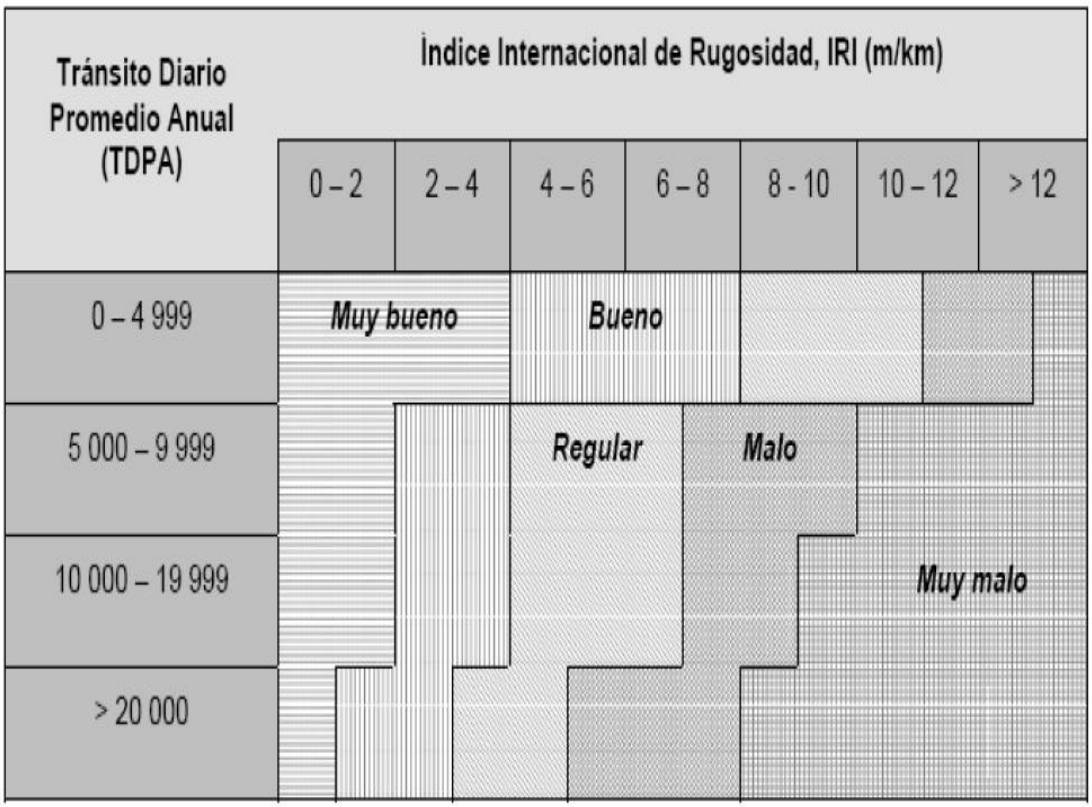

Figura No. 1.5 Recomendaciones del *Transportation Research Board* (TRB) para la selección de valores máximos admisibles de IRI en función del TPDA

Tabla No. 1.4 Rangos aceptables condición calzada[10]

TPDA	IRI (m/Km)	PCI	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	SURCO DE HUELLA (mm)	DEFLEXIÓN (mm)
>5,000	2 - 3	85 - 100	> 55	6,0	< 0,40
3,000 - 5,000	3,5	85 - 100	> 55	6,0	0,45 – 0,40
1,000 - 3,000	4,0	70 - 85	> 50	6,0 - 8,0	0,58 – 0,45

[10] Fuente: Documento Técnico MOP, Concesión de Carreteras.

1.2.4 Determinación de la velocidad de tránsito del Perfilómetro

De acuerdo al manual de usuario del perfilómetro Mark III, la velocidad máxima a la que se puede realizar lecturas del perfil longitudinal sobre el pavimento es de 110 km/h o su equivalente a 70mph, sin embargo, se recomienda que la velocidad nunca sobrepase los límites máximos pre-establecidos por la Agencia Nacional de Tránsito para cada carretera en la que se vaya a realizar el estudio.

Cuando se realice el ensayo para determinar la Repetibilidad, se optará por tener una velocidad constante de 80 km/h para los 350 metros que representa la longitud total del tramo de prueba.

Una vez que se culminen las mediciones del tramo y se realice el respectivo procesamiento de la información, se medirá la totalidad de la Ruta E28, pero esta vez debido a la topografía propia de la ruta, se circulará respetando los límites de velocidad propios del proyecto.

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. Selección del tramo a ser evaluado por Precisión / Repetibilidad

Debido a que este estudio utiliza la Norma ASTM E950-09, en la sección 10 correspondiente a PROCEDIMIENTO y en el apartado 10.3 SECCIÓN DE PRUEBA, se describe lo siguiente:

> *"Para la medición de secciones cortas de prueba de una superficie recorrida, el operador debe familiarizarse con la sección de prueba, incluido el principio, el final y cualquier otra característica que haya que identificar dentro de la sección de prueba. Si se identifican características dentro de la sección de prueba que se detectan de forma automática, el operador deberá colocar el respectivo marcador en la superficie de rodadura, a los lugares que han sido identificados. Es muy importante que las marcas de rueda sean identificadas en la calzada de manera que las mediciones se hacen en las huellas de las ruedas o en los caminos que se van a medir."*

Figura No. 2.1 Inicio del tramo de análisis

Figura No. 2.2 Fin del tramo de análisis

2.1.1. Ubicación del Tramo

El tramo a ser evaluado está ubicado en la Tabla 2.1 y 2.2.

Tabla No. 2.1 Ubicación geográfica del tramo

Provincia:	Pichincha
Cantón:	Quito
Parroquia:	Calacalí

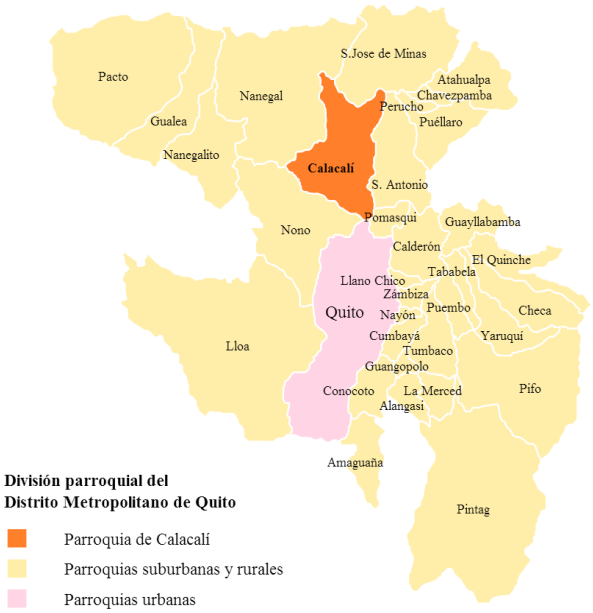

Figura 2.3 División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito

En la Tabla No. 2.2, se indicará en coordenadas geográficas, la ubicación del punto inicial como final del tramo de estudio.

Tabla No. 2.2 Ubicación Geo-referenciado del tramo

	Estación (km)	X	Y
Punto Inicial	0+000	779334,234	10000431,229
Punto Final	0+350	778985.975	10000394.2

2.2. Estudios Topográficos

El estudio topográfico se realizó el día miércoles 13 de marzo de 2013.

Figura No. 2.4 Personal empleado en el levantamiento topográfico

2.2.1. Levantamiento Topográfico del tramo seleccionado

El equipo utilizado para realizar el levantamiento topográfico fue una Estación Total Trimble 3305 Dr.

Figura No. 2.5 Estación Total Trimble 3300 Dr.

El procedimiento para la recolección de los puntos fue el siguiente:

- Se identifica el punto de partida mediante la utilización del GPS Mobile Mapper ™ 6 marca MAGELLAN y se señala el punto, el cual es llamado punto auxiliar No.1 que tiene los siguientes datos (Ver Tabla No. 2.3) en coordenadas geográficas.

Tabla No. 2.3 Coordenadas geográficas punto auxiliar No. 1

	X	Y	Z
AUX-1	779334,234	10000431,229	100

Figura No. 2.6 Ubicación del punto auxiliar No. 1

- Con un flexómetro, se mide 1 metro desde la línea referencial derecha para que el levantamiento se realice en la huella derecha.

- Con el mismo GPS., se mide una distancia de 150 metros para poner el punto auxiliar No. 2, que además es la Estación No. 1 (Ver Tabla 2.4).

Tabla No. 2.4 Coordenadas geográficas Estación No. 1

	X	Y
Estación No.1	779185,110	10000415,363

- Una vez que se ha plantado el equipo, desde el punto auxiliar No.1, se señala la carpeta de rodadura con un espaciamiento de 0.30 metros como dice la Norma ASTM E950-09.

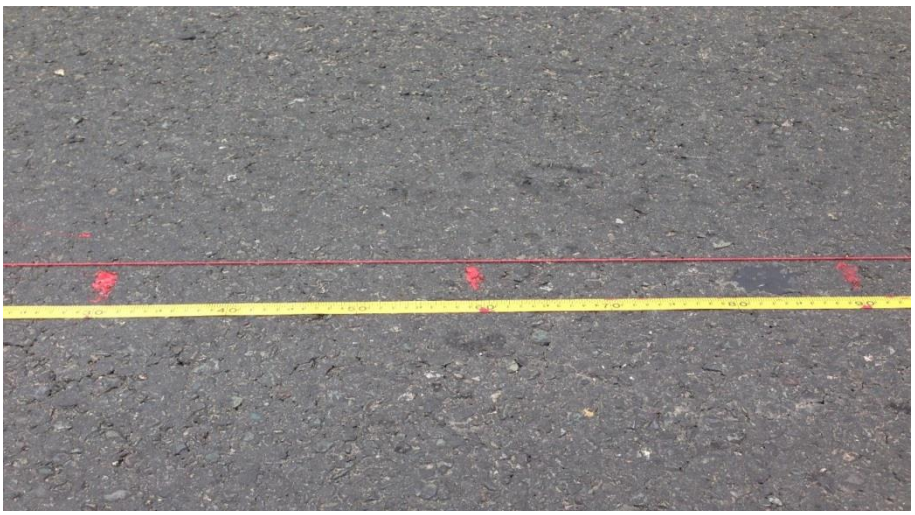

Figura 2.7 Señalización de los puntos cada 0.30 metros en el pavimento

- El trabajo de campo inicia y de esta manera es como se realiza el levantamiento topográfico del tramo de estudio para Precisión / Repetibilidad. Adicionalmente, se señalarán dos puntos auxiliares que se denominan Estación No. 2 y No. 3., (Ver Tabla 2.5).

Tabla No. 2.5 Coordenadas geográficas Estación No. 2 y No. 3

	X	Y
Estación No.2	779016,201	10000397,574
Estación No.3	778976,452	10000393,201

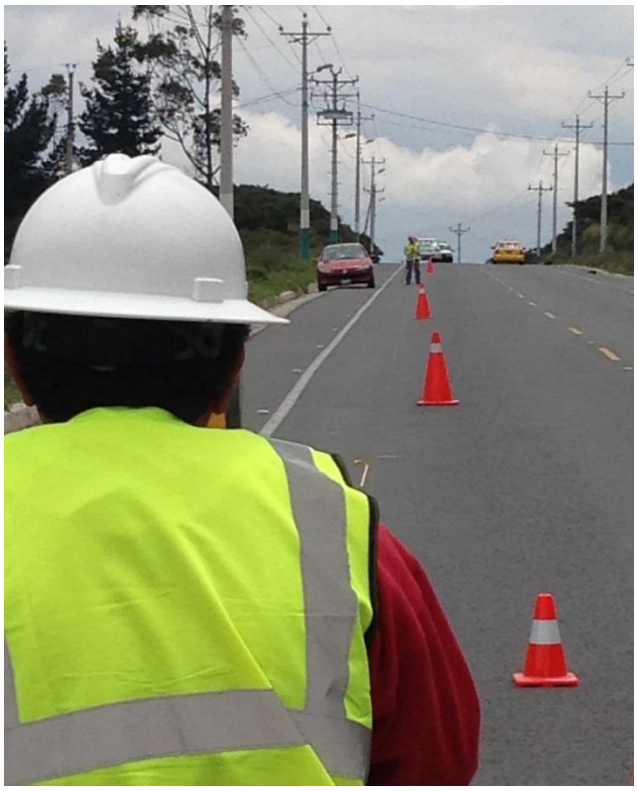

Figura 2.8 Medición del perfil longitudinal del pavimento

- La información sobre el estudio de campo realizado se encuentra en el Anexo No. 1, a continuación se muestra una imagen geo-referenciada de los puntos medidos.

Figura No. 2.9 Nivelación Ruta E28 Geo-referenciada

A continuación, mediante el software ProVAL se genera el perfil topográfico del tramo de estudio en la Ruta E28

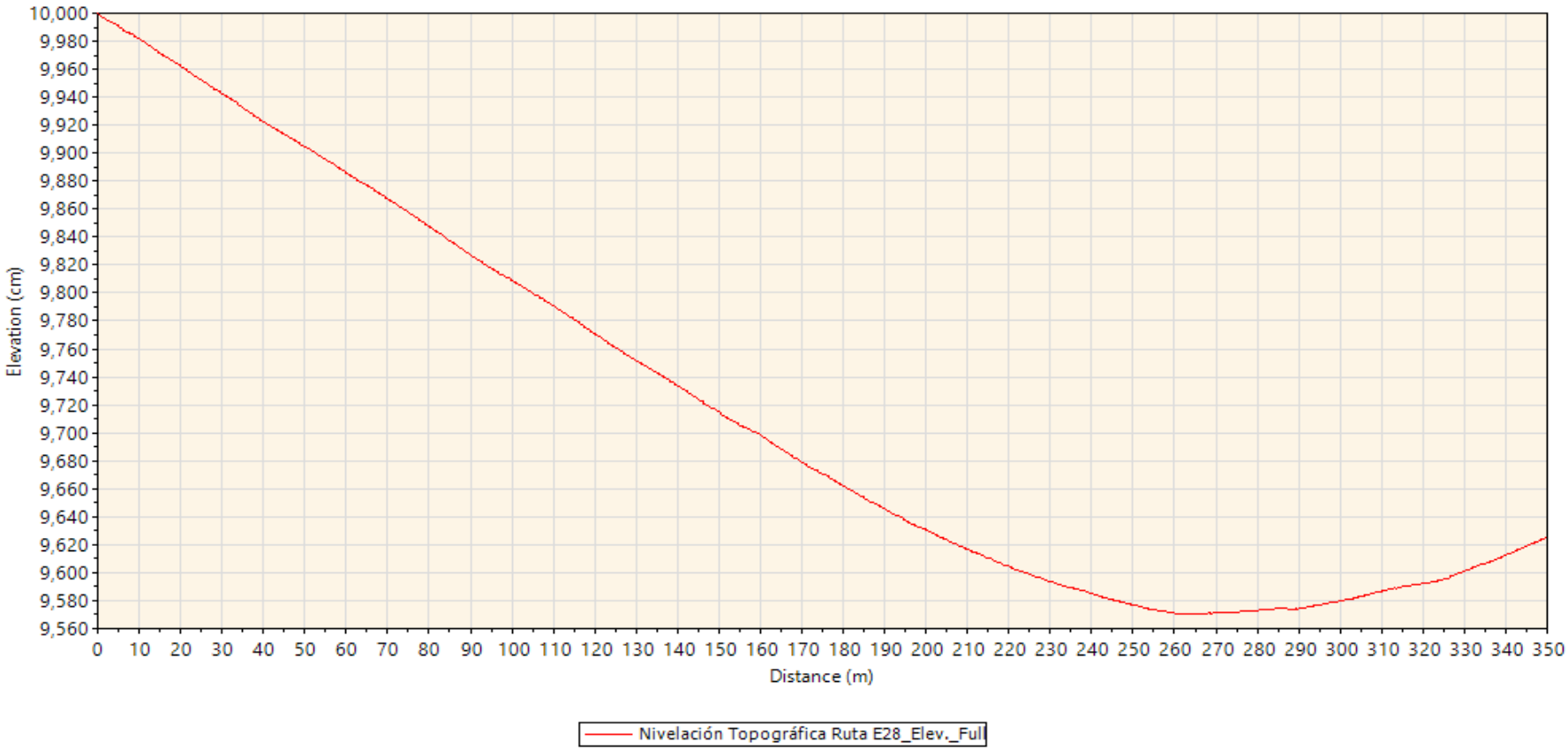

Figura No. 2.10 Representación del perfil topográfico del pavimento

2.2.2 Cálculo del IRI a partir del perfil

La obtención del Índice de Rugosidad Internacional contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático, en el cual se involucran aspectos de análisis estadístico del perfil y una posterior modelación para medir la rugosidad asociada al perfil de un camino. Lo anterior involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales, que permiten el cálculo de la rugosidad asociada al camino, en este estudio se utilizará el software ProVAL el cual es un software libre patrocinado por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) y el programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (LTPP).

Inicialmente es necesario medir las cotas del terreno que permitan representar el perfil real del camino, después, mediante análisis estadístico (media móvil) y artificios matemáticos, generar un nuevo perfil posible de ser analizado desde el punto de vista de las irregularidades que en él se puedan observar. Posteriormente, el perfil longitudinal del camino es sometido al análisis mediante el modelo de simulación del “Cuarto de Carro”, a través del cual se registran las características asociadas al camino, basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar.

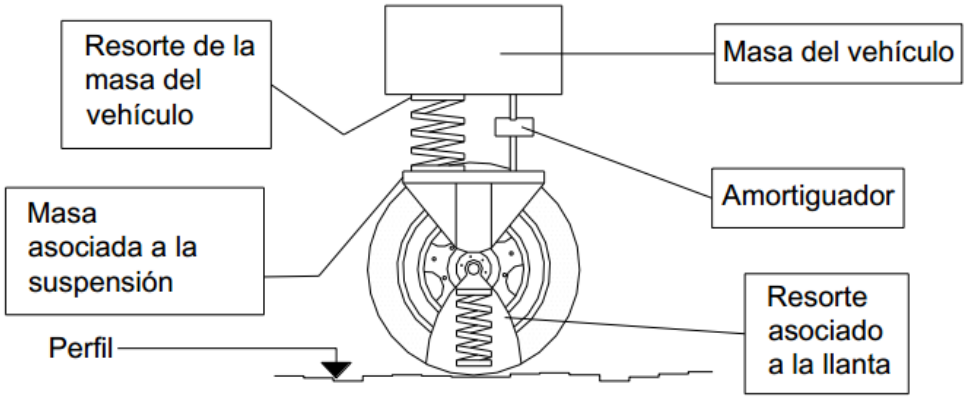

Figura No. 2.11 Representación del Modelo de Cuarto de Carro

El modelo de simulación del cuarto de carro persigue representar y medir los movimientos verticales no deseados y atribuibles a la irregularidad del camino. El modelo es representado por dos masas, una “amortiguada o suspendida” y la otra “no amortiguada” conectadas entre sí a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión). Por último, el neumático es representado por otro resorte lineal. Los movimientos sobre el perfil de la carretera están asociados a desplazamientos verticales, velocidad y aceleraciones de masas, quedando todo en el sistema regido por la segunda ley de Newton.

Mediante el uso del programa computacional ProVAL, (Profile Viewing and Analysis Software), versión 3.4, se realizó el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional del perfil longitudinal antes demostrado. El análisis se dividirá en dos partes, primero se emplearán los rangos máximos de 2.0 m/km y 3.0 m/km que están normados en el Documento Técnico de Concesiones de Carreteras para Ecuador y luego se comparará con los

rangos que establece el Banco Mundial donde toma un valor máximo de 3.5 m/km. Se estudiarán intervalos de 50 metros para determinar los valores promedios de IRI.

Se muestra a continuación la ventana con la que se trabajará dentro del programa ProVAL y las diferentes opciones que se pueden utilizar.

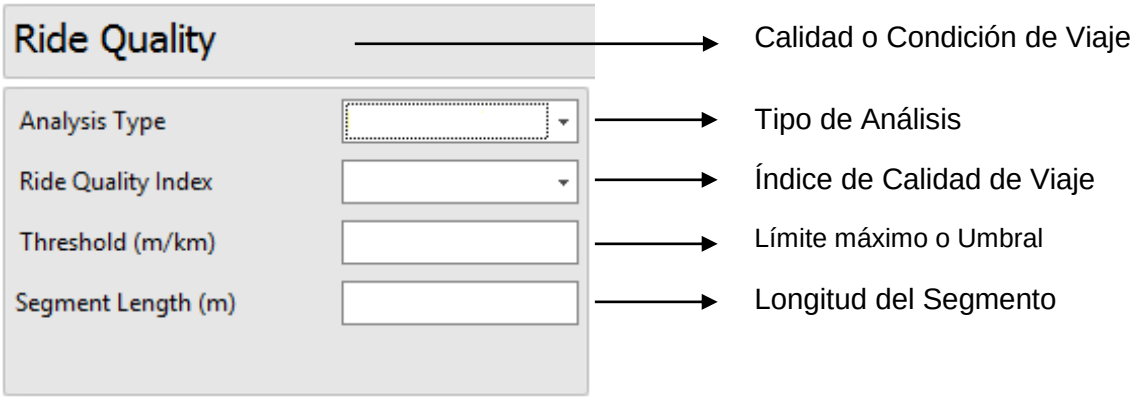

Figura No. 2.12 Datos de entrada ProVAL

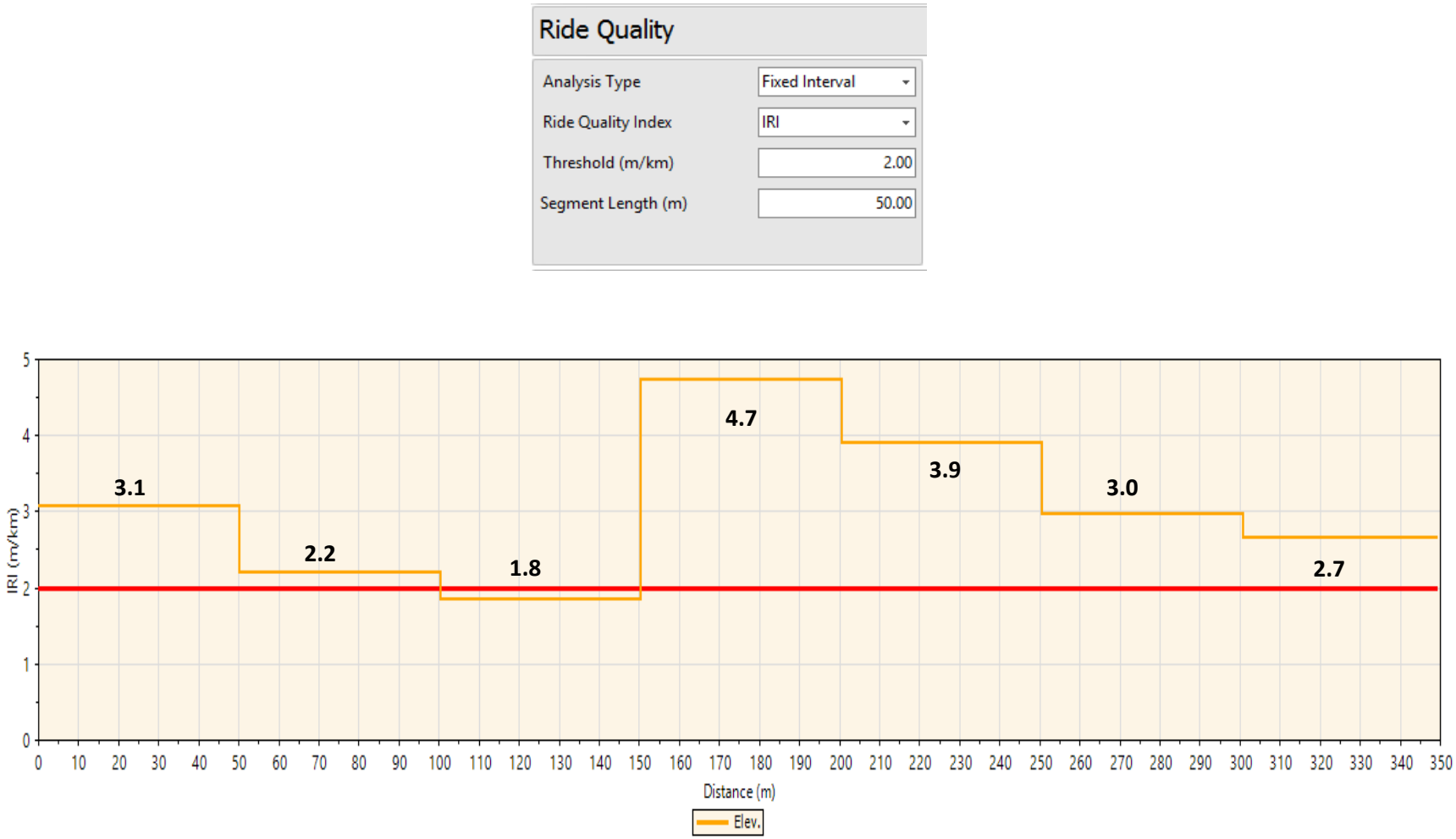

Figura No. 2.13 IRI promedio de 3.1 m/km, análisis cada 50 metros, límite de 2.0 m/km de acuerdo a normativa de concesiones

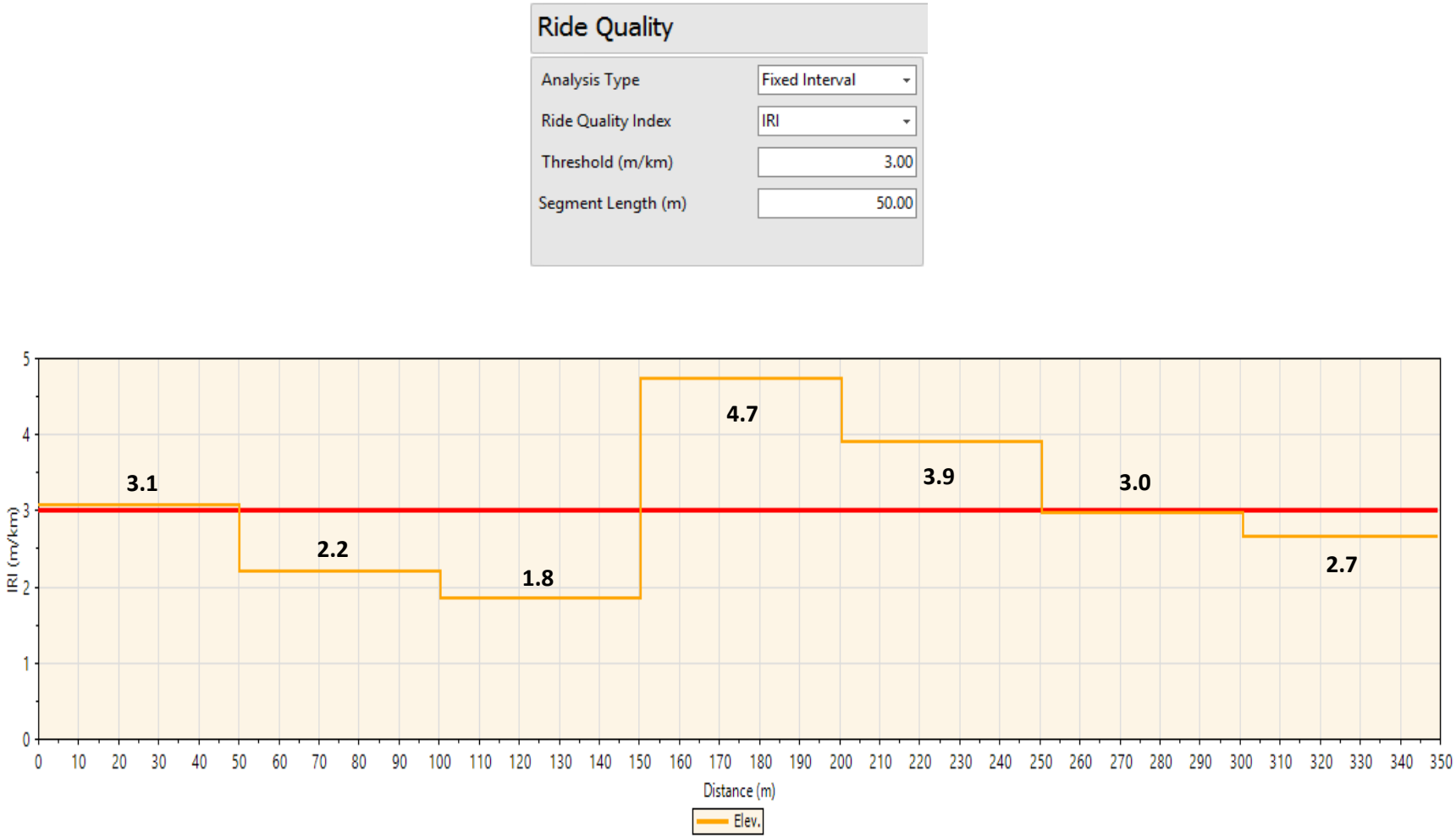

Figura No. 2.14 IRI promedio de 3.1 m/km, análisis cada 50 metros, límite de 3.0 m/km de acuerdo a normativa de concesiones

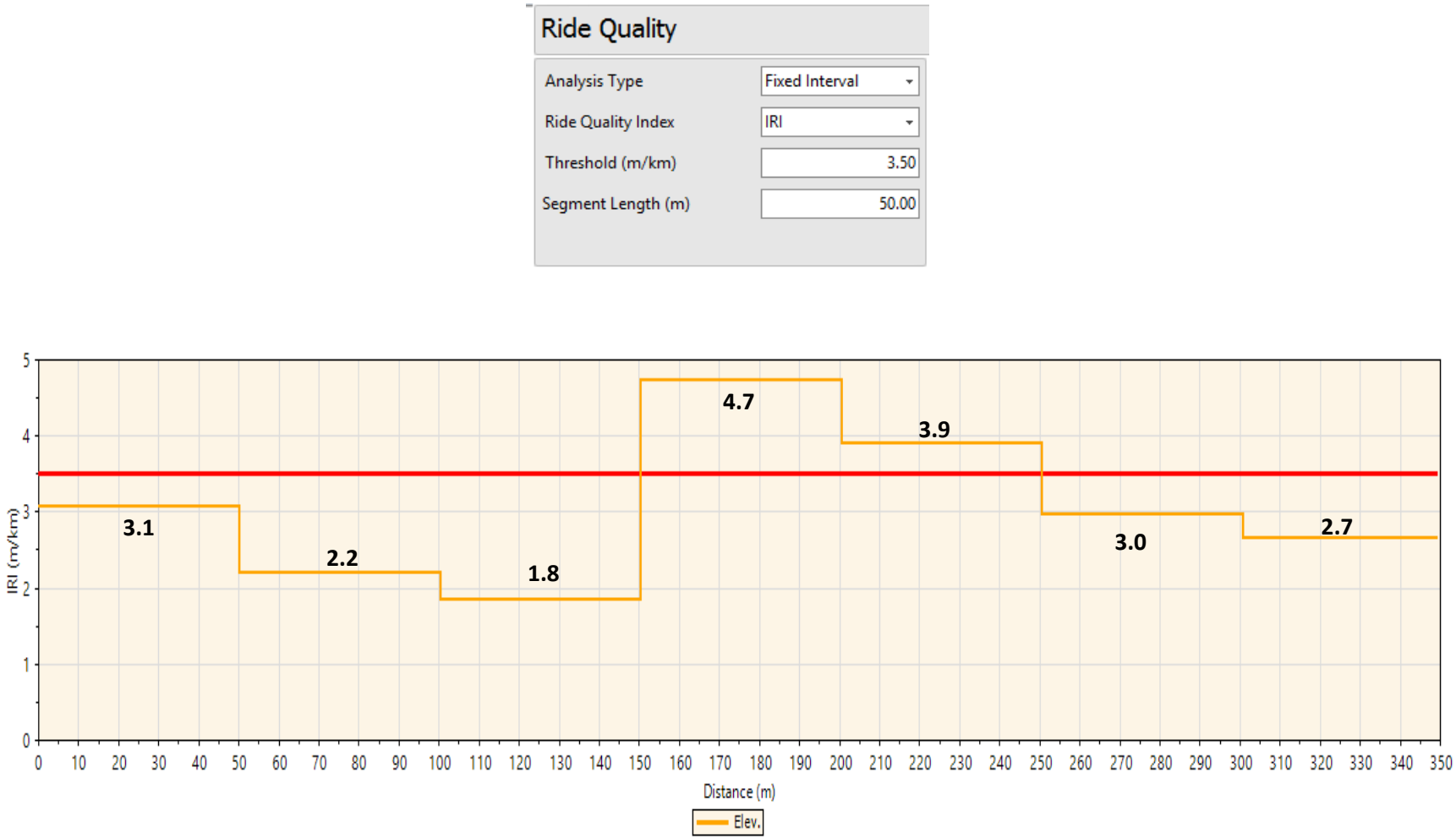

Figura No. 2.15 IRI promedio de 3.1 m/km, análisis cada 50 metros, límite de 3.5 m/km de acuerdo a normativa del Banco Mundial

El procesamiento de datos que se realizó para el cálculo de IRI en las Figuras 2.11, 2.12 y 2.13 fue en base al levantamiento topográfico del perfil longitudinal en el tramo seleccionado de la Ruta E28.

Se debe tener muy claro, que al realizar una nivelación topográfica, se toma la cota en elevación de un punto específico y cuando se trabaja con perfilómetros inerciales, el valor de la cota en elevación es el promedio del tramo al cual se especificó la distancia por lo que estos primeros resultados deben ser comparados con los que se obtienen una vez que se utiliza el perfilómetro inercial.

Figura No. 2.16 Representación del levantamiento topográfico cada 30 centímetros

Figura No. 2.17 Perfilómetro Inercial Mark III utilizado

CAPÍTULO III: UTILIZACIÓN DEL PERFILÓMETRO INERCIAL MARK III

3.1. Introducción a los Perfilómetros Inerciales

La regularidad de la superficie de una carretera es el parámetro que más incide en el viajero pues influye en su comodidad y en su seguridad. Se puede definir también como la suma de aceleraciones no deseadas que sufre el usuario al circular por una carretera.

Con el fin de aumentar los niveles de seguridad y confort del usuario de la carretera y de disminuir los costos de mantenimiento vehículo – carretera, es necesario conseguir una buena regularidad superficial / IRI.

Esta característica de la carretera depende de la calidad de ejecución de la obra nueva y del mantenimiento a lo largo de la explotación de la misma.

Hasta hace poco tiempo el perfil se ha evaluado casi exclusivamente mediante aparatos de referencia geométrica tales como la regla de 3 metros y el viágrafo[11].

Debido al bajo rendimiento de estos equipos que imposibilita su empleo durante la etapa de explotación se desarrollaron equipos de medida de alto rendimiento de tres tipos:

[11] También conocido como Perfilómetro de California.

- Inerciales
- Mediante ultrasonidos
- Mediante sensores láser

De estos se han abandonado los basados en ultrasonidos ya que su eficacia depende de factores tales como la temperatura ambiente. Los otros dos tipos son los que actualmente se emplean como medidores de la regularidad superficial de la carretera.

3.2. Características del Perfilómetro Inercial Mark III

El perfilómetro inercial Mark III con el que se realizará este estudio (Ver Figura No. 2.14), consta de los siguientes componentes que serán inicialmente indicados para luego dar una breve descripción con su fotografía de respaldo.

- Barra transductora.
- Sensores Láser.
- Acelerómetro.
- Foto Sensor.
- Láser de Ahuellamiento.
- Odómetro.
- Unidad de Procesamiento de Datos (DPU).
- Unidad de Geo posicionamiento (GPS).
- Cámara.

3.2.1. Barra Transductora

La barra transductora, es una caja de aluminio con unas dimensiones de aproximadamente 20 cm por 20 cm y generalmente por 1.83 metros de longitud cuando los láser de ahuellamiento no se encuentran colocados. Con los láser de ahuellamiento, la barra podrá llegar a tener una longitud máxima de 2.55 metros. Esta barra, estará montada sólidamente en la parte delantera del vehículo y alberga a los sensores láser, acelerómetros, foto sensores. La función principal de este componente, es brindar seguridad a los diversos componentes que se encuentran dentro y proporcionar una plataforma recta para el montaje del láser.

Figura No. 3.1 Barra Transductora

3.2.2. Sensor Láser

Técnicamente, su nombre debería ser Sensor de Medición de Distancia Laser “Laser Distance Measurement Sensors”, y podrían estar hasta 21 láseres dentro de una misma barra transductora para medir la elevación de la barra sobre la superficie del pavimento en diferentes puntos sobre todo el carril. La información que cada sensor láser entrega, se utiliza para la elaboración de estadísticas objetivas sobre la condición de rugosidad sobre el pavimento y para estimar la cantidad de ahuellamiento.

EL modelo de sensor láser SLS 5000 SELCOM, se utiliza para obtener datos de perfil longitudinal del pavimento a excepción de los láser en ángulo o láseres para la medición de la textura. Estos láseres son muy robustos y fiables, y se les considera que son los mejores sensores láseres disponibles para tomar el perfil del pavimento.

Figura No. 3.2 Sensor Láser

3.2.3. Acelerómetro

Típicamente, los acelerómetros se colocan en las huellas del camino y un tercero, se puede colocar en el centro de la barra. Los acelerómetros se adjuntan a la parte superior de los láseres utilizando una base magnética y se desprenden con facilidad para realizar el proceso de calibración. El propósito de un acelerómetro, es determinar el movimiento vertical que se produce cuando el vehículo se encuentra en movimiento a través del espacio. El acelerómetro del centro generalmente no se utiliza ya que el movimiento vertical producido en el centro de la barra, puede ser derivado de los movimientos verticales obtenidos en las huelas del camino. Este tipo de acelerómetros tiene una sensibilidad de 1 µg equivalente a $9.81x10^{-6}\ {}^{m}/_{s^2}$.

Figura No. 3.3 Acelerómetro

3.2.4. Foto Sensor

El foto sensor o sensor de imagen, es un dispositivo que se puede instalar adicionalmente a la barra transductora. Este dispositivo se puede utilizar para asegurar que la recolección de datos se inicie en el mismo punto de múltiples archivos y adicionalmente para realizar calibraciones del sistema de distancia “odómetro”. La manera como funciona un sensor de imagen es mediante un sistema infrarrojo, el cual emite una onda que al chocar con el pavimento, envía una onda reflejada de vuelta hacia la barra que es medida por un umbral el cual puede ser regulado para poder realizar mediciones incluso en días muy soleados.

Figura No. 3.4 Foto Sensor

3.2.5. Láser de Ahuellamiento

Los láser de ahuellamiento normalmente son opcionales y contienen un modelo de sensor láser en ángulo SLS 6000 SELCOM, que se colocan en cada extremo de la barra. Los láseres están en ángulos máximos de 45 grados con respecto al eje vertical de la barra de transductora. Si se colocan dichos láseres, la medida de la barra transductora se extiende típicamente de 2.90 a 3.20 metros.

Figura No. 3.5 Laser de Ahuellamiento

3.2.6. Odómetro

El odómetro o codificador de distancia (ENCODER), mide con precisión la distancia y comunica esta información a la PSB a través de un cable de teléfono estándar con un conector de teléfono RJ 45, que se conecta

directamente en el PSB. El odómetro de la rueda produce 2.000 pulsos por 1 revolución del neumático de vehículo por lo que es muy precisa y repetible.

Figura No. 3.6 Odómetro

3.2.7. Unidad de Procesamiento de Datos (DPU)

La unidad de procesamiento de datos DPU, es el término común para el Sistema de Tarjeta del Perfilómetro “PROFILER SYSTEM BOARDS (PSBs)” y para el Procesador Integrado “Embedded Processor”. El sistema de tarjeta del perfilómetro, es la parte principal y cuenta con un sistema en paralelo de chips DSP, que permiten el procesamiento en tiempo real para perfiles inerciales, macro – textura y adicionalmente, se encarga de las funciones del odómetro.

El procesador integrado, colecta información de la tarjeta PSB y calcula los índices de manejo como ahuellamiento; es también responsable de la

generación de los archivos de salida, así como la comunicación entre el DPU y el Computador vía Ethernet.

Figura No. 3.7 Unidad de Procesamiento de Datos

3.2.8. Unidad de Geoposicionamiento (GPS)

Datos de las coordenadas GPS pueden ser recogidos y almacenados con un receptor GPS opcional. En este equipo se trabaja con un GPS marca Trimble de precisión submétrica.

Figura No. 3.8 GPS

3.2.9. Cámara

Las imágenes fijas pueden ser almacenadas a intervalos especificados por el usuario con una cámara compatible con Windows opcional. El sistema de cámaras debe cumplir con el sistema de Windows DirectX (controlador compatible WDM). La mayoría de cámaras web pueden ser utilizadas.

Figura No. 3.9 Cámara

3.3. Aplicación de la Norma ASTM E 950-09

La Norma ASTM E950-09 se encuentra en el Anexo No.2., en este apartado, se realizarán los procedimientos de calibración del equipo para los siguientes componentes:

- Barra Transductora (Láseres),
- Acelerómetro,
- Medidor de Distancia.

Barra Transductora (Láseres):

Lo que primero que se debe comprobar es que la distancia entre la superficie de rodamiento y la barra transductora sea de 30 centímetros ± 1cm en cada uno de los lados. Una vez realizada esa medida, mediante la utilización de unos caballetes plásticos elevamos la camioneta y procedemos a colocar una barra metálica con la cual se verificará que la distancia de cada uno de los láseres a la superficie de rodadura sea la correcta.

Figura No. 3.10 Calibración de los Sensores Láseres

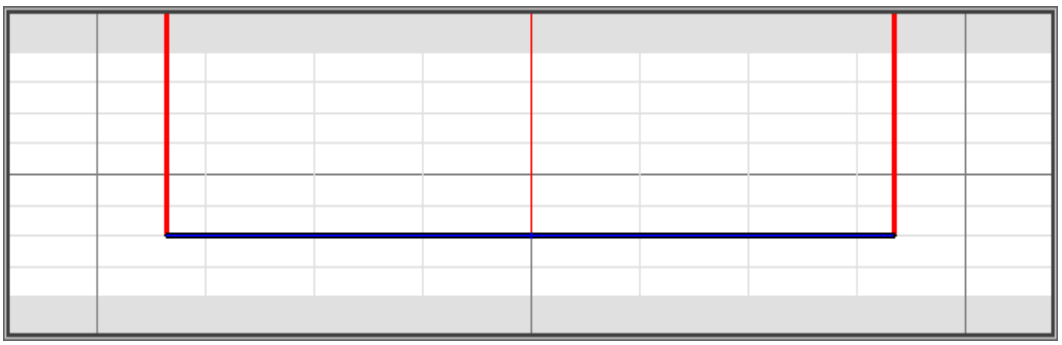

Figura No. 3.11 Respuesta de los Láseres cuando se encuentran sobre la barra metálica

Adicionalmente, se ingresa a la ventana de calibración del equipo para ver cómo se encuentran los láseres respecto a un eje fijo.

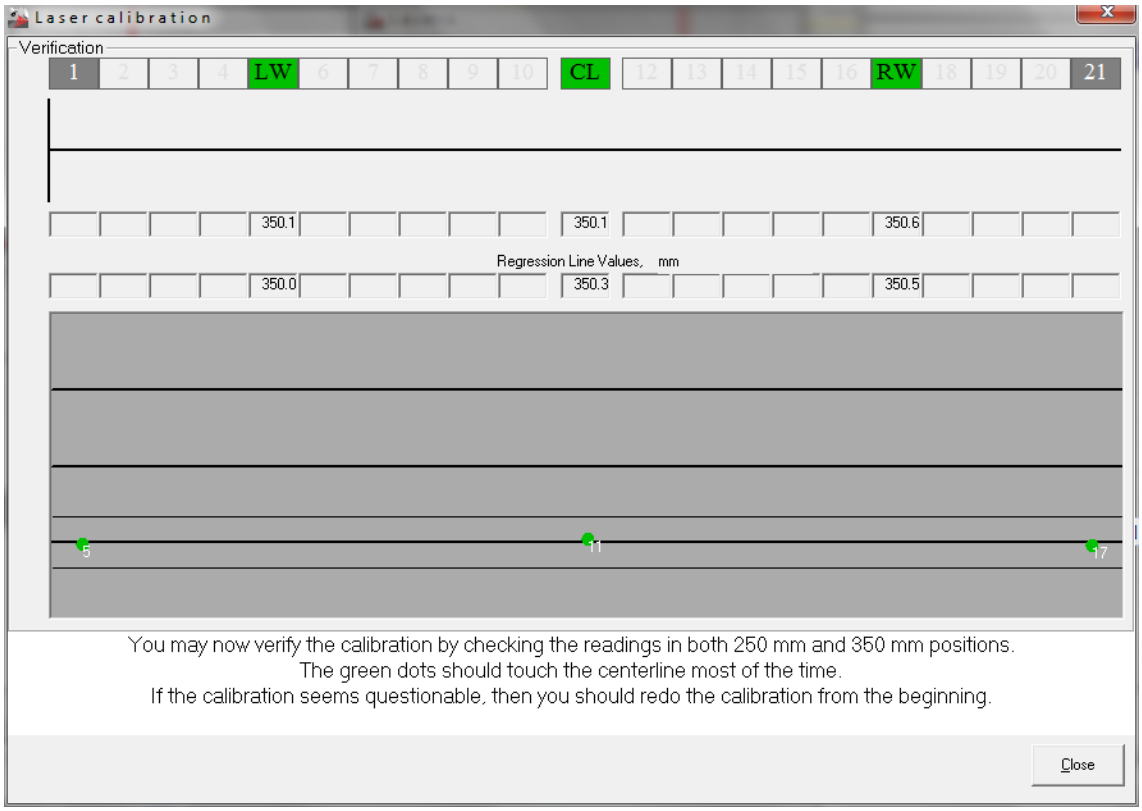

Figura No. 3.12 Comprobación de los Sensores Láseres

Las Figuras Nos. 3.11 y 3.12 indican que la calibración de la barra no será necesaria, puesto que la actual cumple con los parámetros para realizar la medición.

Acelerómetros:

Para realizar la verificación de los dos acelerómetros que este equipo posee, es necesario contar con un espacio cerrado y que el vehículo se encuentre apagado y sin estar expuesto a movimientos. En este proceso, se deberá manipular los acelerómetros como veremos en las figuras siguientes.

De manera similar a la calibración de los láseres, se abrirá una ventana donde se podrá verificar la posición actual de los acelerómetros.

Figura No. 3.13 Ubicación de los acelerómetros respecto a la barra transductora

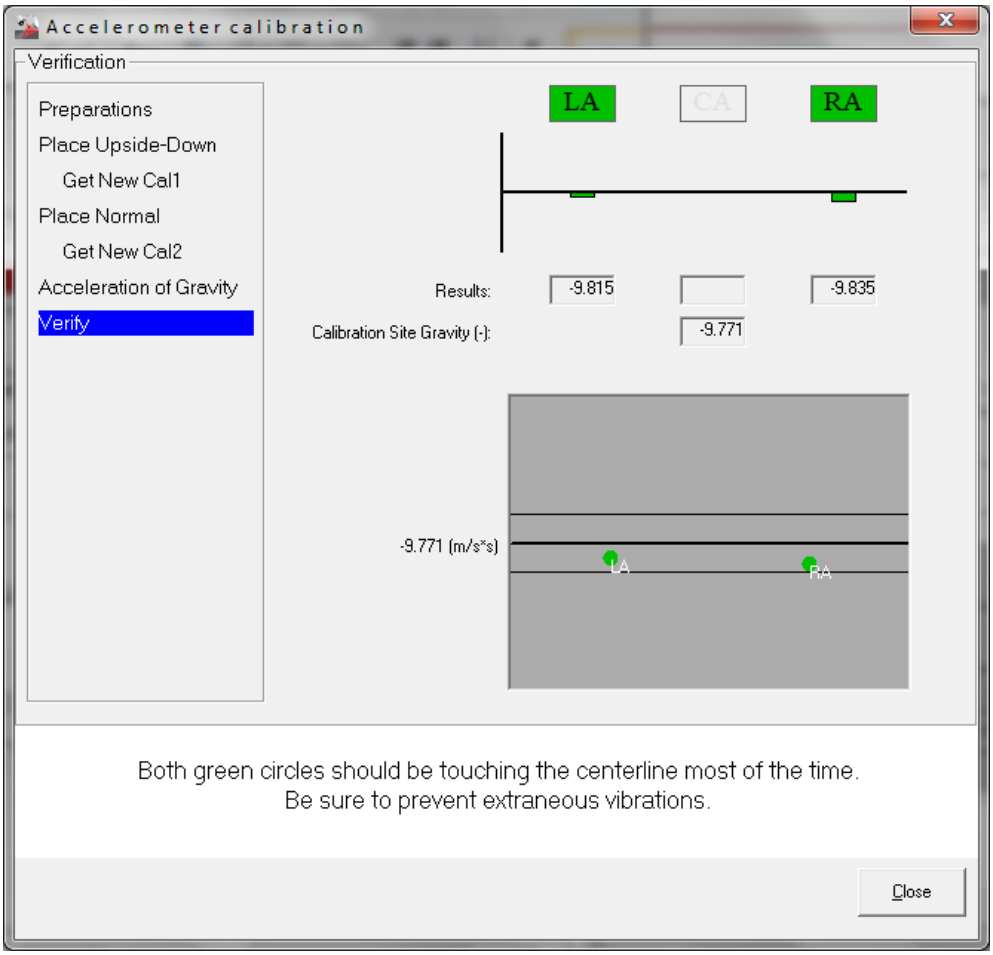

Figura No. 3.14 Verificación de los acelerómetros

La Figura No. 3.14, muestra la posición de los acelerómetros respecto a una línea imaginaria (superficie de rodamiento), entonces, es necesario realizar una calibración antes de poder realizar las pruebas.

Para realizar la calibración, se deberá sacar los acelerómetros de la barra transductora y seguir el siguiente procedimiento:

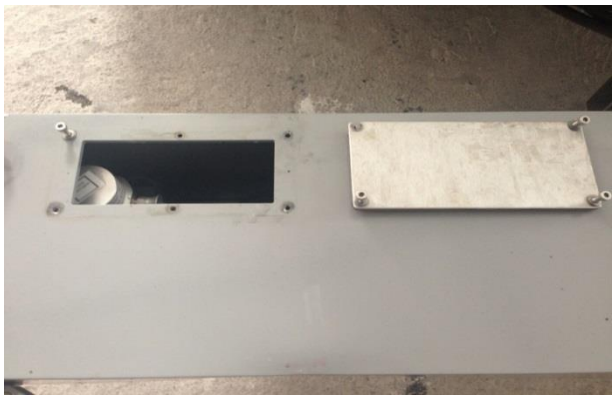

Figura No. 3.15 Acelerómetros antes de iniciar la calibración

- Utilizando una pasta para moldear, se colocan los acelerómetros al revés de su posición de trabajo y utilizando un nivel se busca la posición horizontal en referencia a la barra transductora.

Figura No. 3.16 Acelerómetros desmontados y nivelados, al revés de su posición

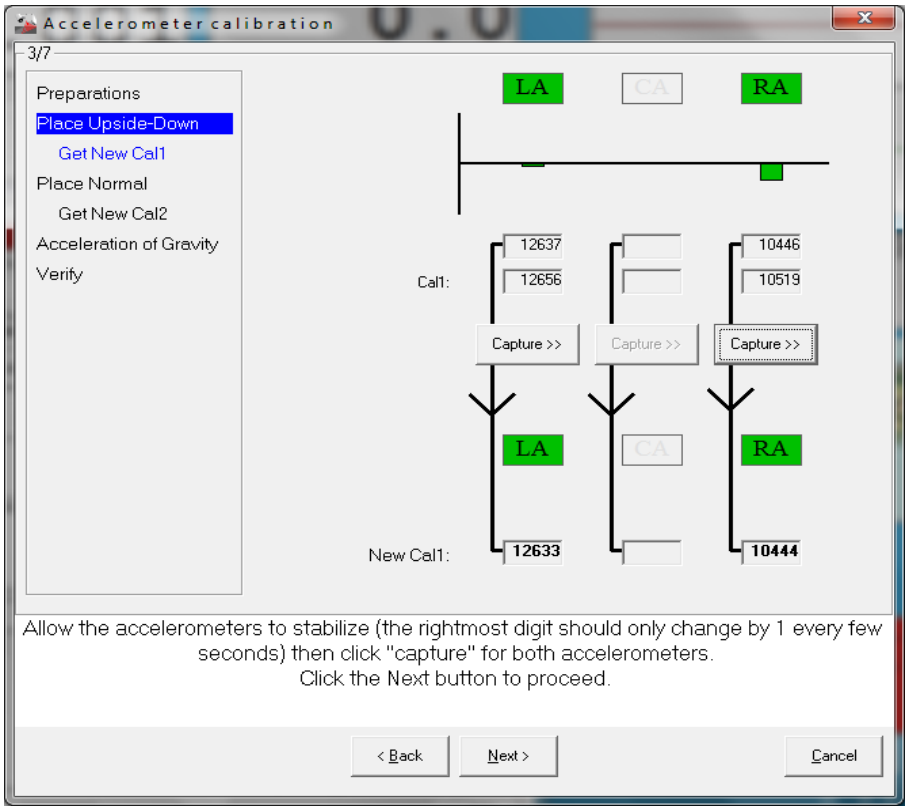

Figura No. 3.17 Nuevos valores aceptados para los acelerómetros cuando se encuentran al revés

- Ahora, de manera similar, se realiza el mismo procedimiento cuando los acelerómetros se encuentran en la posición normal de trabajo.

Figura No. 3.18 Acelerómetros desmontados y nivelados, en su posición normal

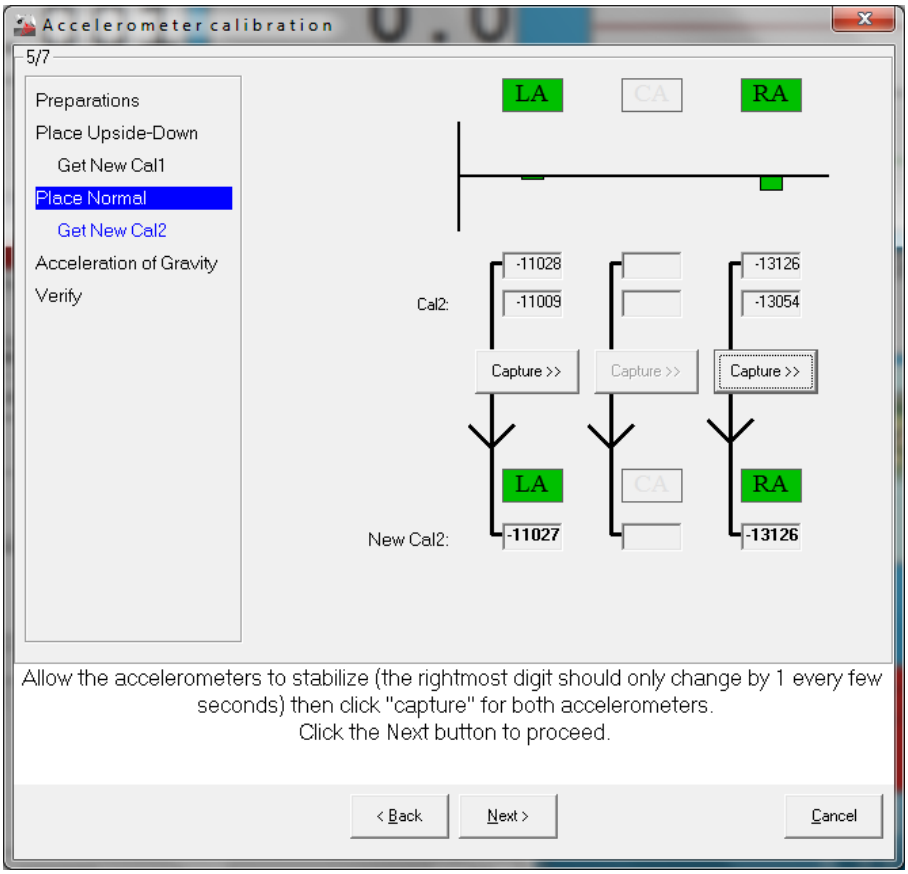

Figura No. 3.19 Nuevos valores aceptados para los acelerómetros cuando se encuentran en su posición normal

- Como tercer paso, colocamos el valor de la aceleración de la gravedad a 9.771 $^{m}/_{s^2}$.

- Como paso final, verificamos la posición de los acelerómetros con los nuevos valores aceptados para decidir si la calibración fue exitosa.

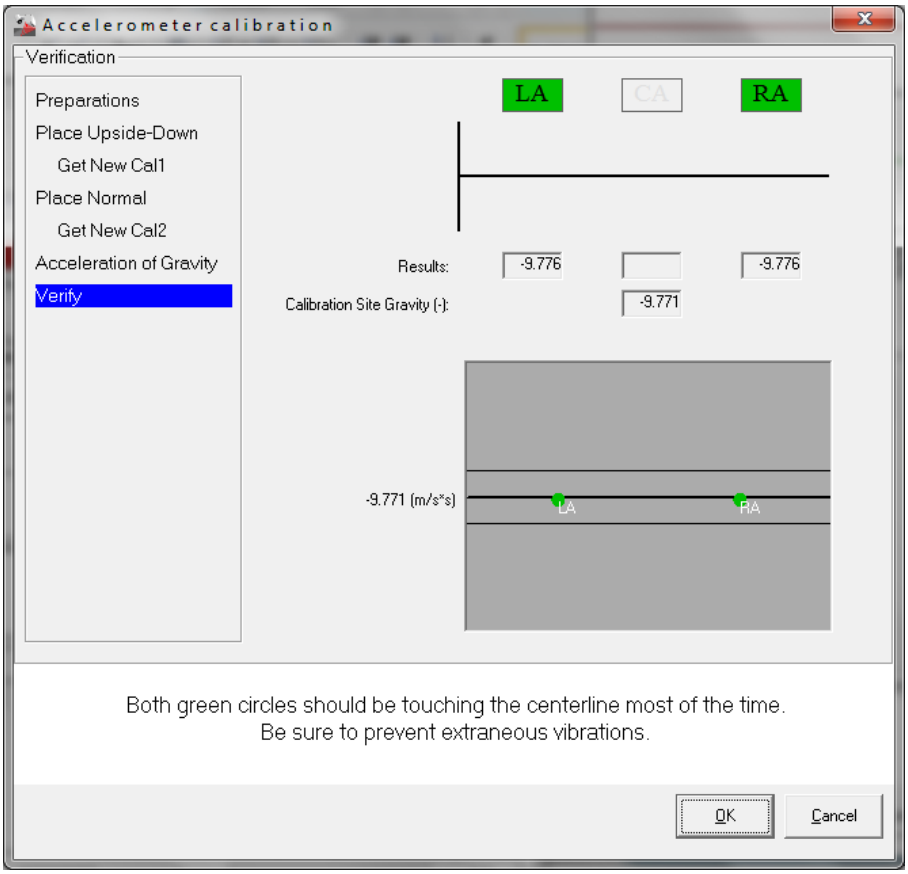

Figura No. 3.20 Posición de los acelerómetros luego de la calibración

Los resultados obtenidos luego de realizar el proceso de calibración son los esperados y el proceso se finaliza aceptando y guardando los nuevos valores para poder trabajar en campo.

Medidor de Distancia DMI:

El proceso para realizar la calibración del medidor de distancia es midiendo una distancia conocida y viendo el cambio que se produce entre los valores guardados y los que se van a tomar. La longitud que se tiene preestablecida es de 1 kilómetro en el sector de la Mitad del Mundo la cual ha sido medida mediante equipo topográfico.

Antes de iniciar la calibración del sensor de movimiento, se debe chequear que la presión de inflado de las llantas cumpla con la normativa, para este caso, la presión de inflado que debe tener es de 50 PSI.

Figura No. 3.21 Inicio del tramo de calibración Km 0+000

Para realizar la calibración, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- Se deberá medir el tramo de prueba para ver el cambio que se produce entre la medición guardada y la que se va a realizar al momento.

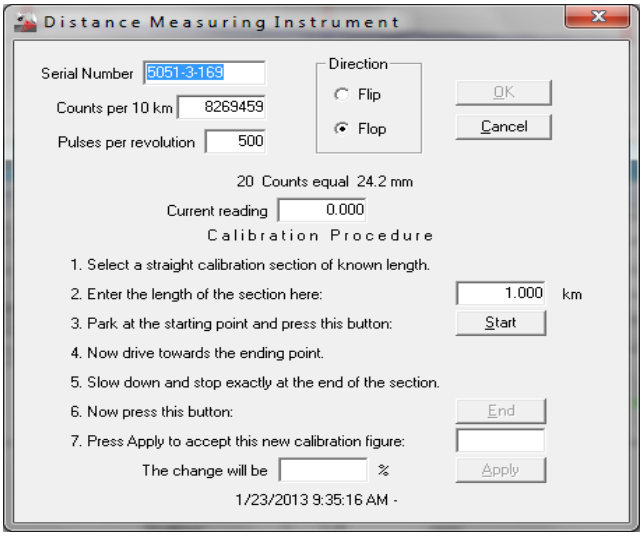

Figura No. 3.22 Pantalla de inicio para realizar la calibración

- Durante la medición de este kilómetro de prueba, la persona que maneja, deberá ir en línea recta para que la medición sea lo más exacta posible.

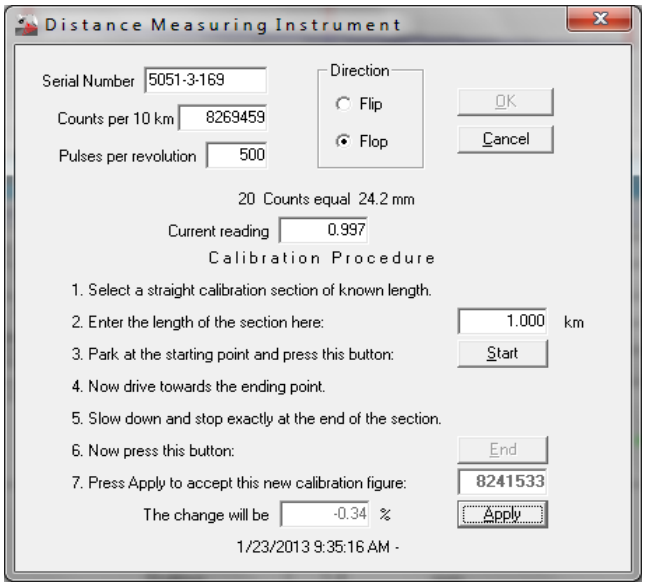

Figura No. 3.23 Pantalla final de la calibración

- Como el cambio que se produce entre estas dos mediciones es de -0.34%, es prudente que se repita el proceso para obtener nuevos resultados.
- Se vuelve a iniciar la prueba y los resultados obtenidos son los siguientes.

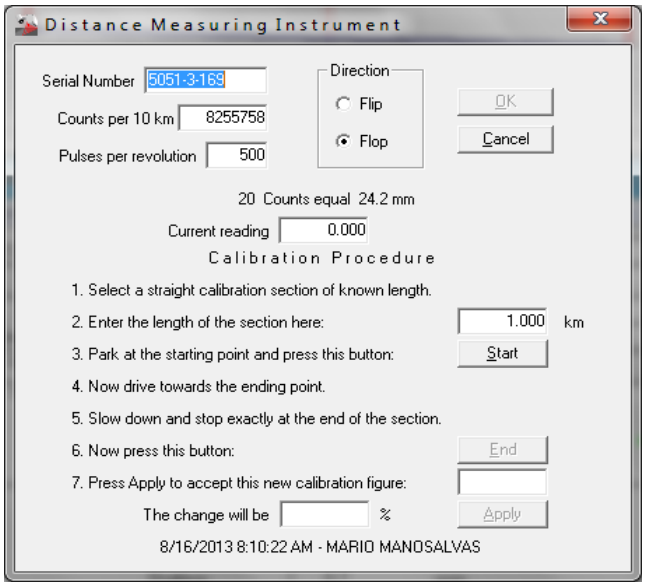

Figura No. 3.24 Segunda pantalla de inicio para la calibración

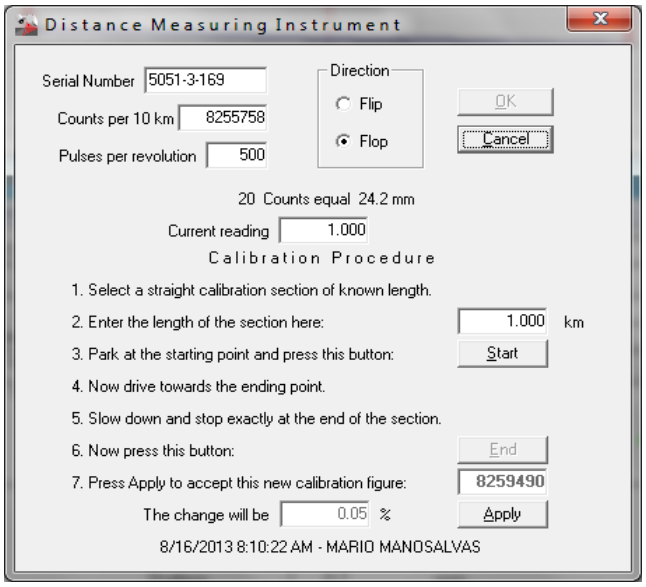

Figura No. 3.25 Segunda pantalla final de la calibración

Figura No. 3.26 Fin del tramo de calibración Km 1+000

Ahora tenemos un cambio de 0.05% entre la antigua medición y la nueva, por lo que damos como válida y aceptamos la calibración.

3.3.1. Medición del tramo con el Perfilómetro Inercial Mark III

La medición del tramo se realizó el viernes 16 de Agosto de 2013, la información recolectada se encuentra en el Anexo No.3 que será presentado en forma digital debido al gran contenido que representa.

Para la evaluación, se realizó la siguiente configuración de prueba:

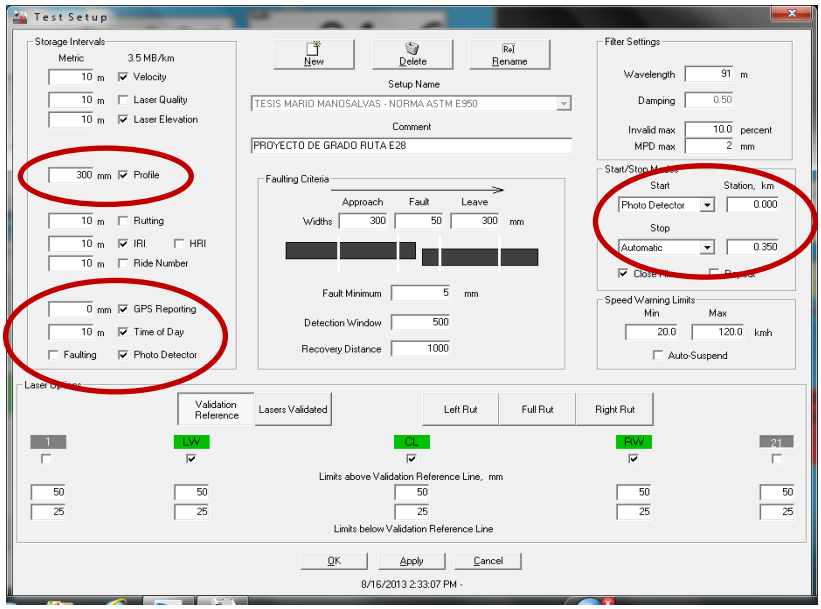

Figura No. 3.27 Configuración establecida para tramo de prueba

En la Figura No. 3.24, se puede observar los siguientes parámetros de medición:

- Cada 300 milímetros se hará una medida del perfil longitudinal.
- Datos de Velocidad, IRI y GPS se guardarán cada 10 metros.
- El inicio del tramo se hará mediante el foto sensor y automáticamente cuando pasen los 350 metros de la prueba el archivo se cerrará.

Figura No. 3.28 Medición del tramo de prueba

A continuación se muestran los perfiles longitudinales de las diez mediciones.

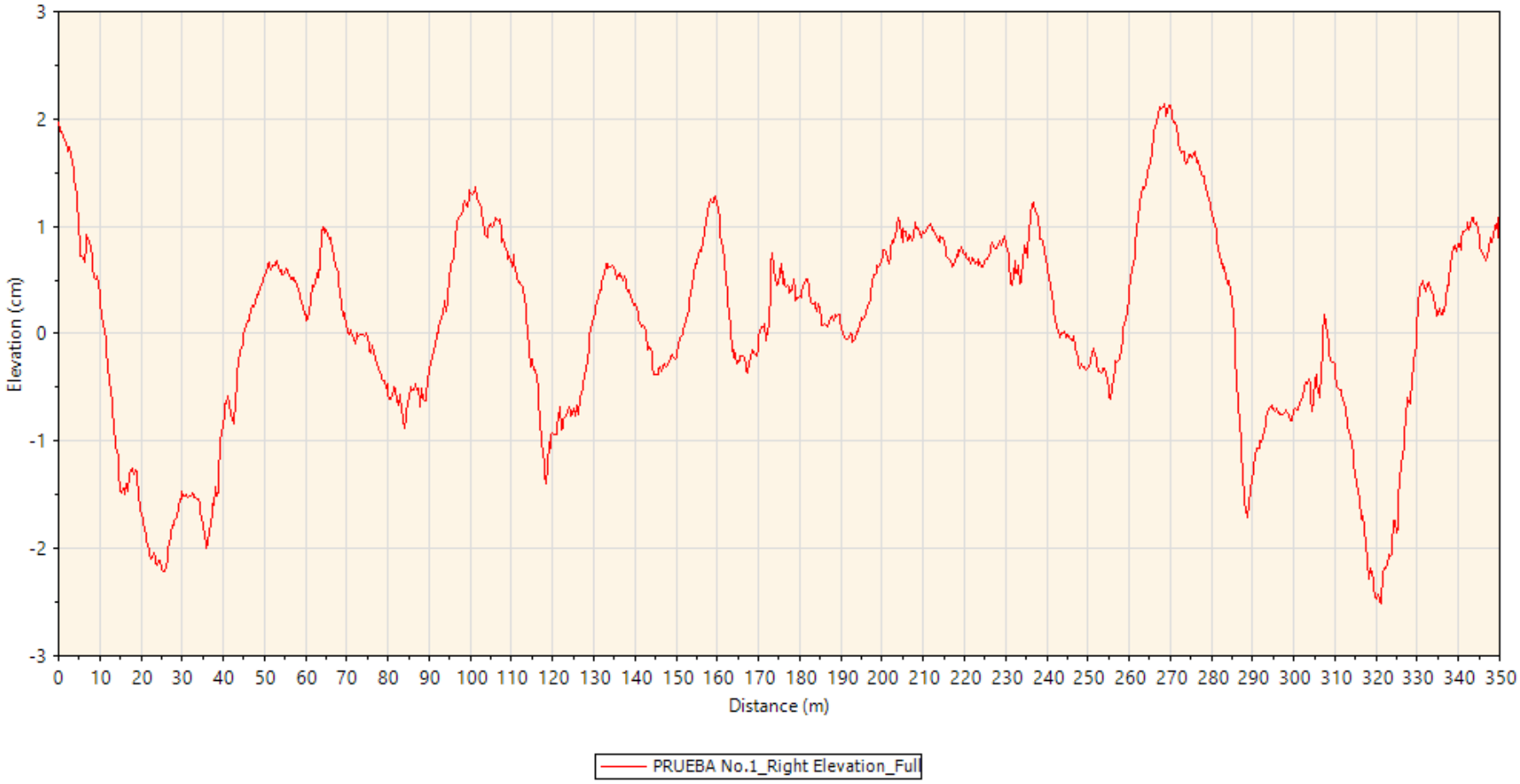

Figura No. 3.29 Perfil longitudinal de la prueba No. 1 en la huella derecha

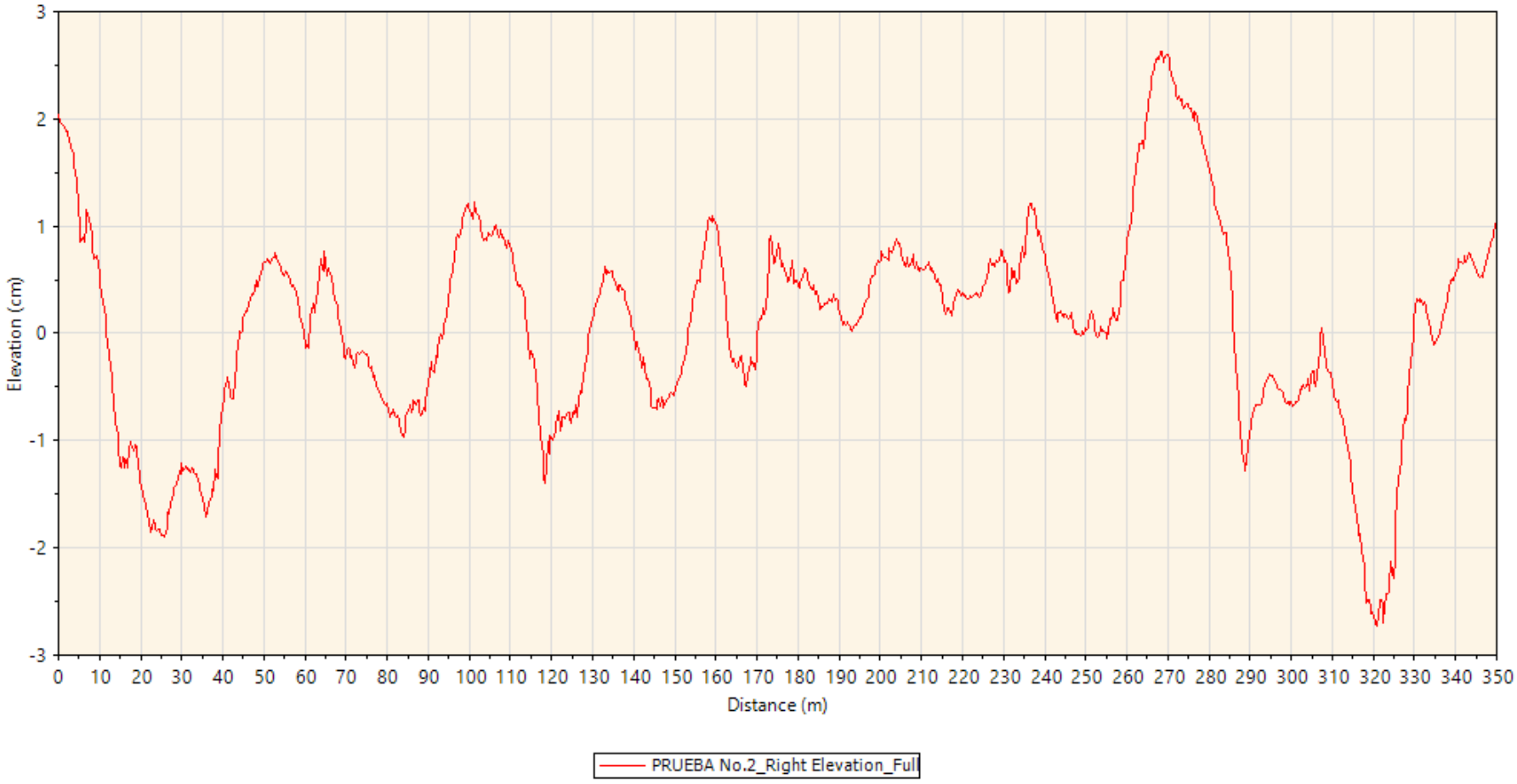

Figura No. 3.30 Perfil longitudinal de la prueba No. 2 en la huella derecha

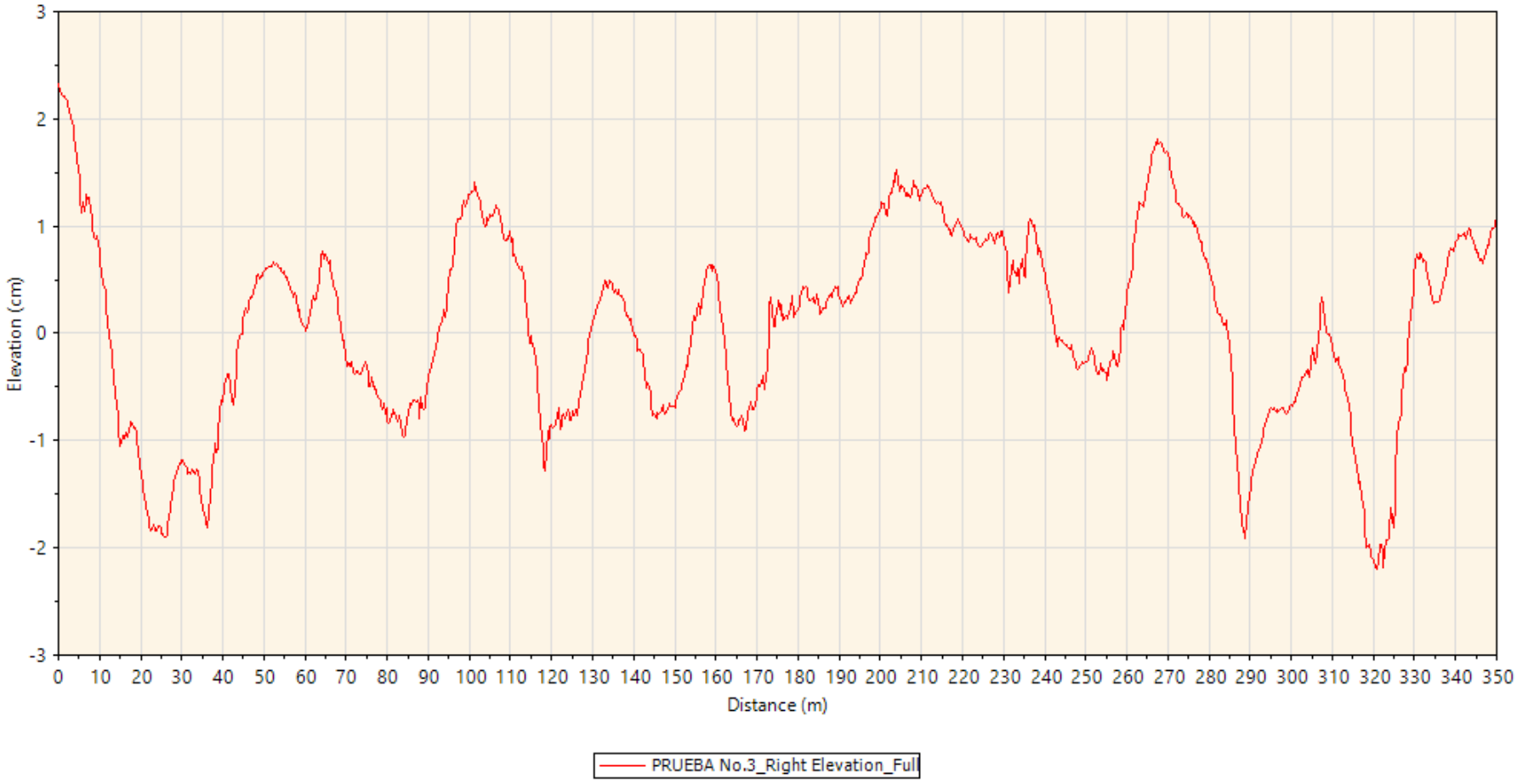

Figura No. 3.31 Perfil longitudinal de la prueba No. 3 en la huella derecha

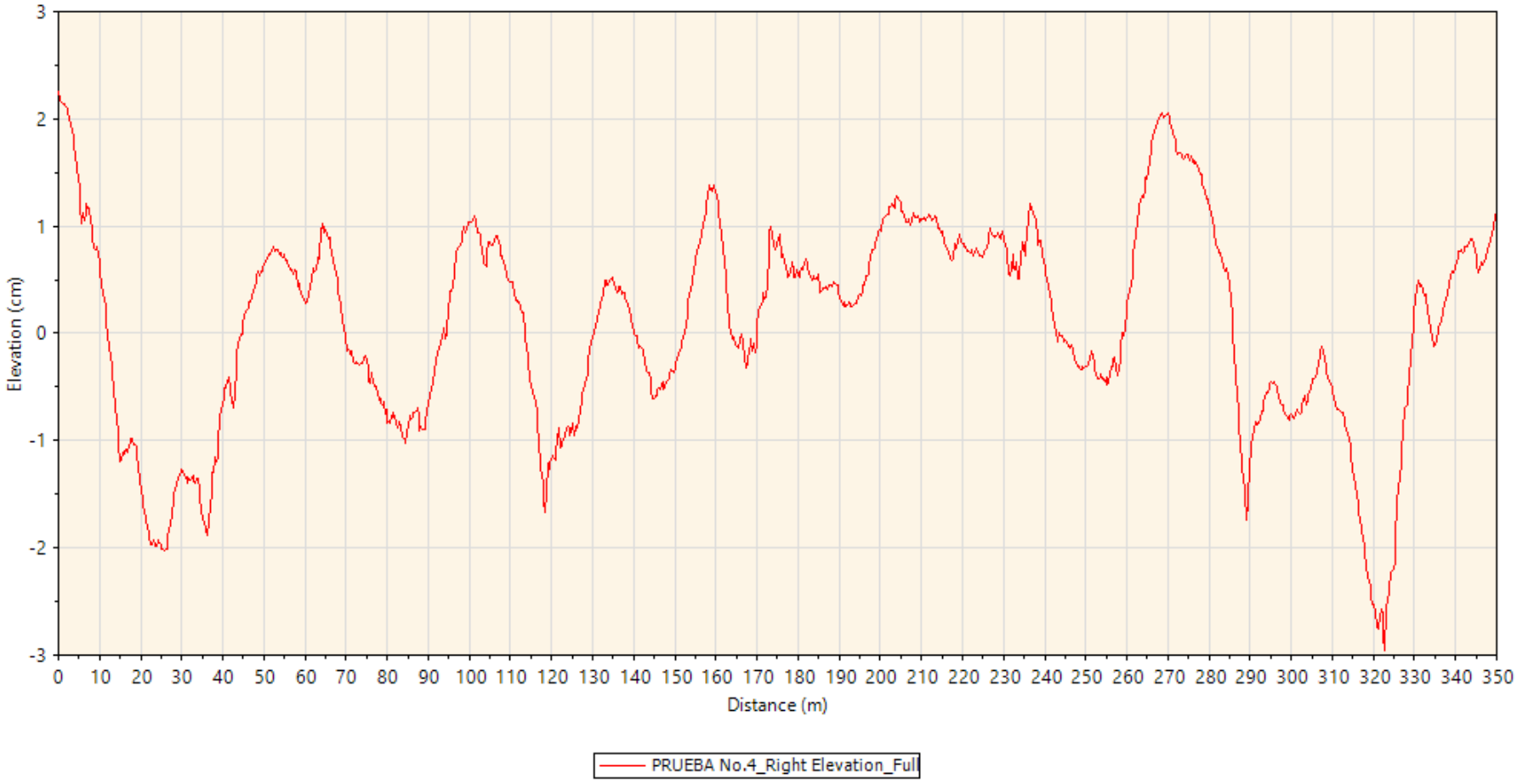

Figura No. 3.32 Perfil longitudinal de la prueba No. 4 en la huella derecha

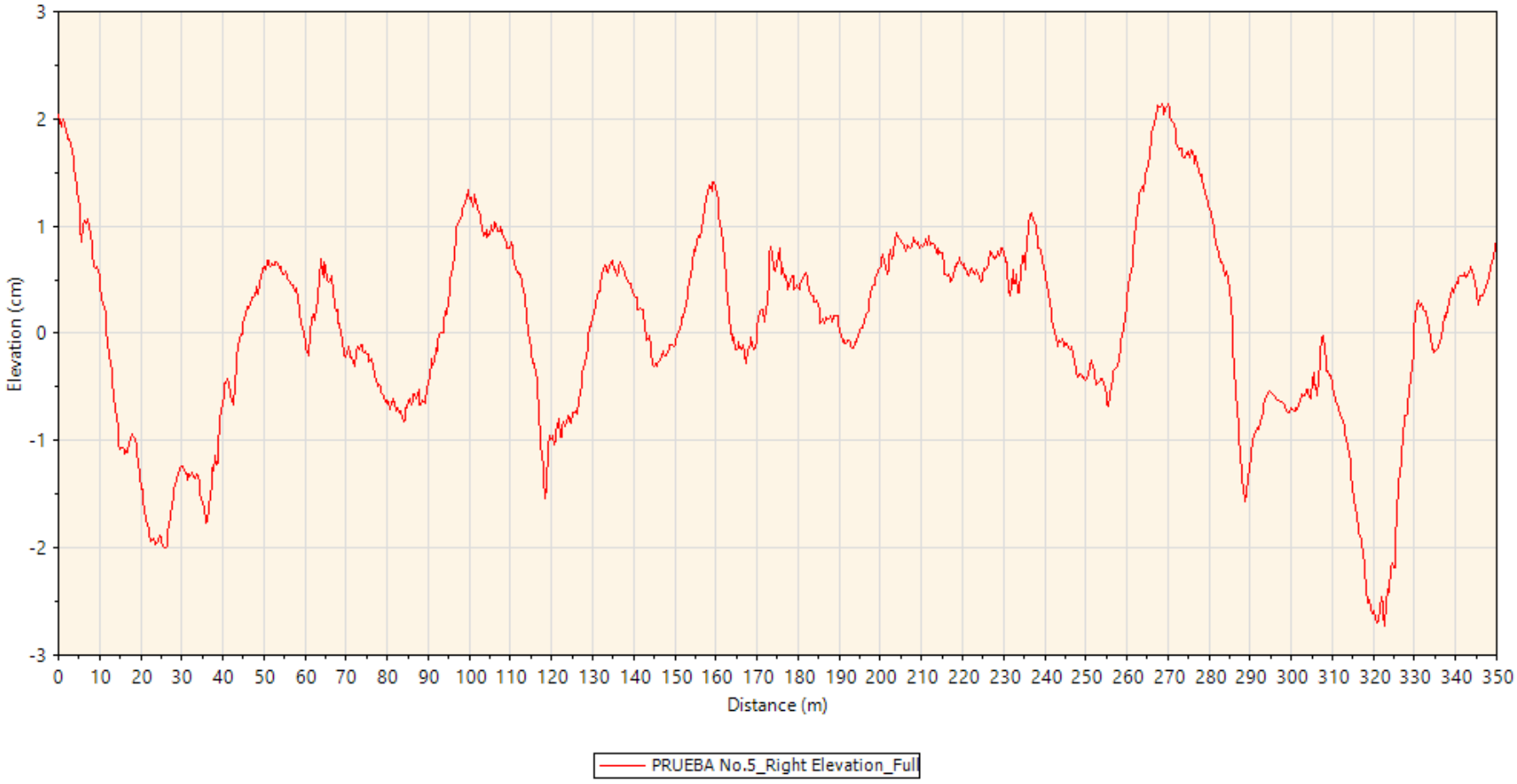

Figura No. 3.33 Perfil longitudinal de la prueba No. 5 en la huella derecha

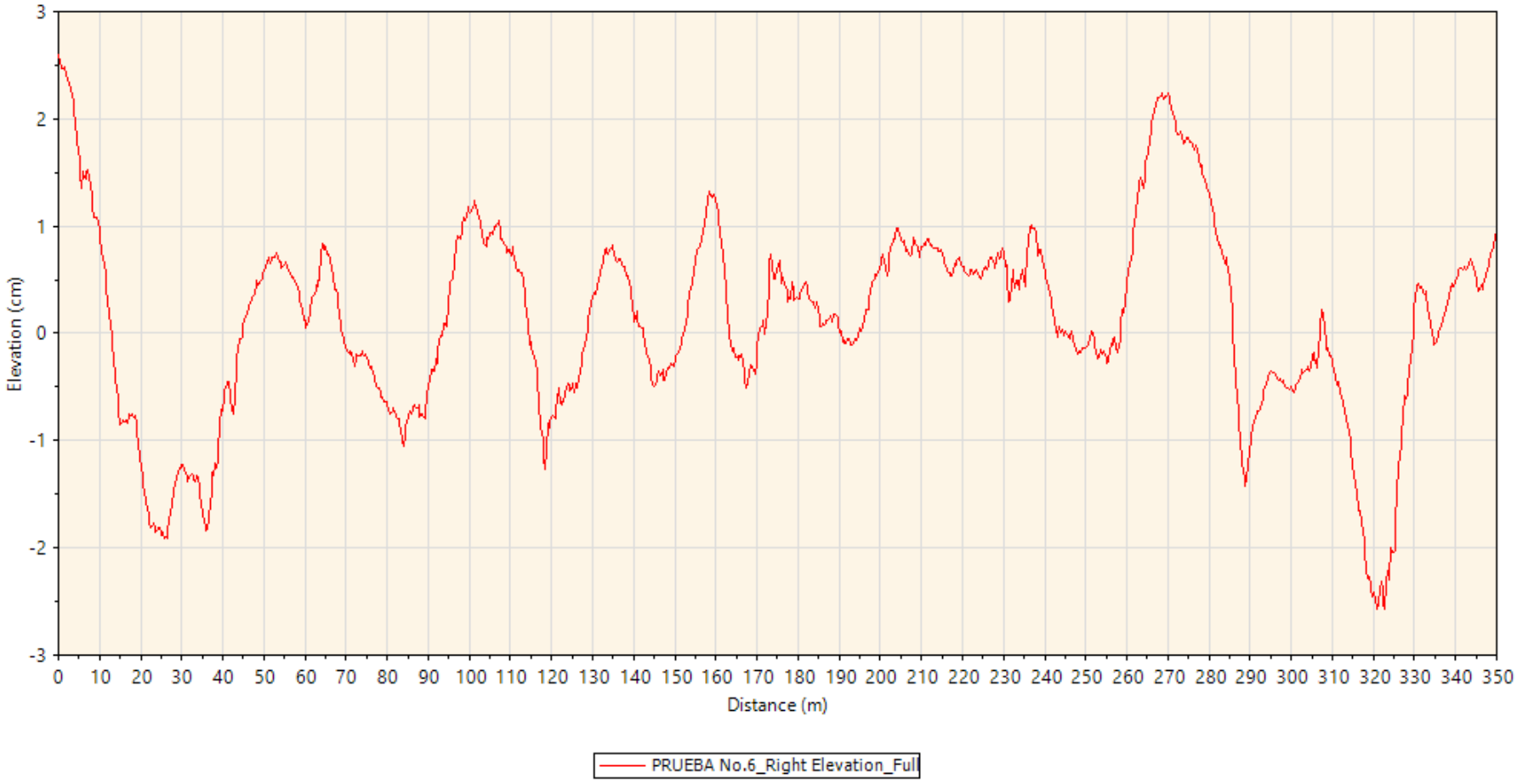

Figura No. 3.34 Perfil longitudinal de la prueba No. 6 en la huella derecha

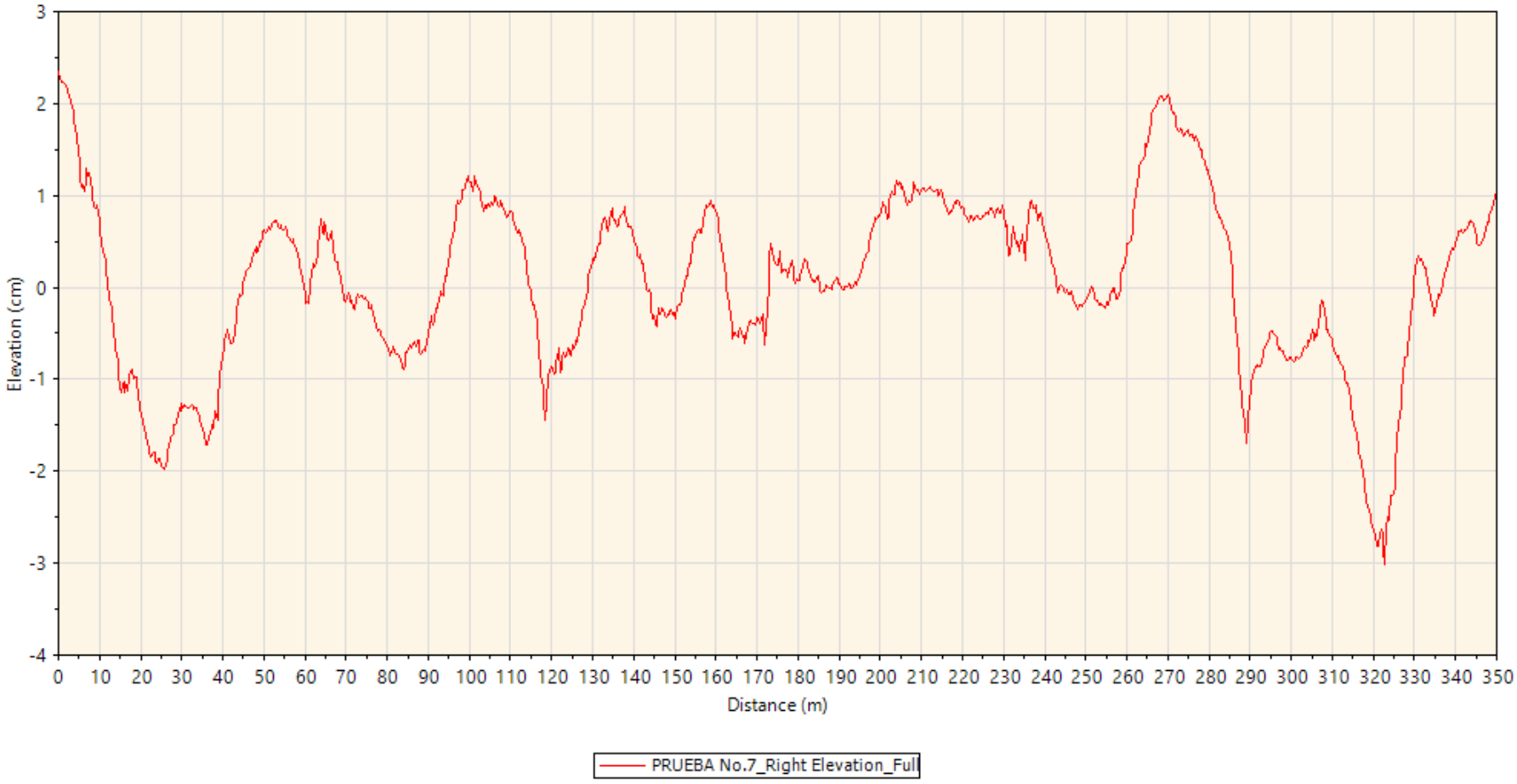

Figura No. 3.35 Perfil longitudinal de la prueba No. 7 en la huella derecha

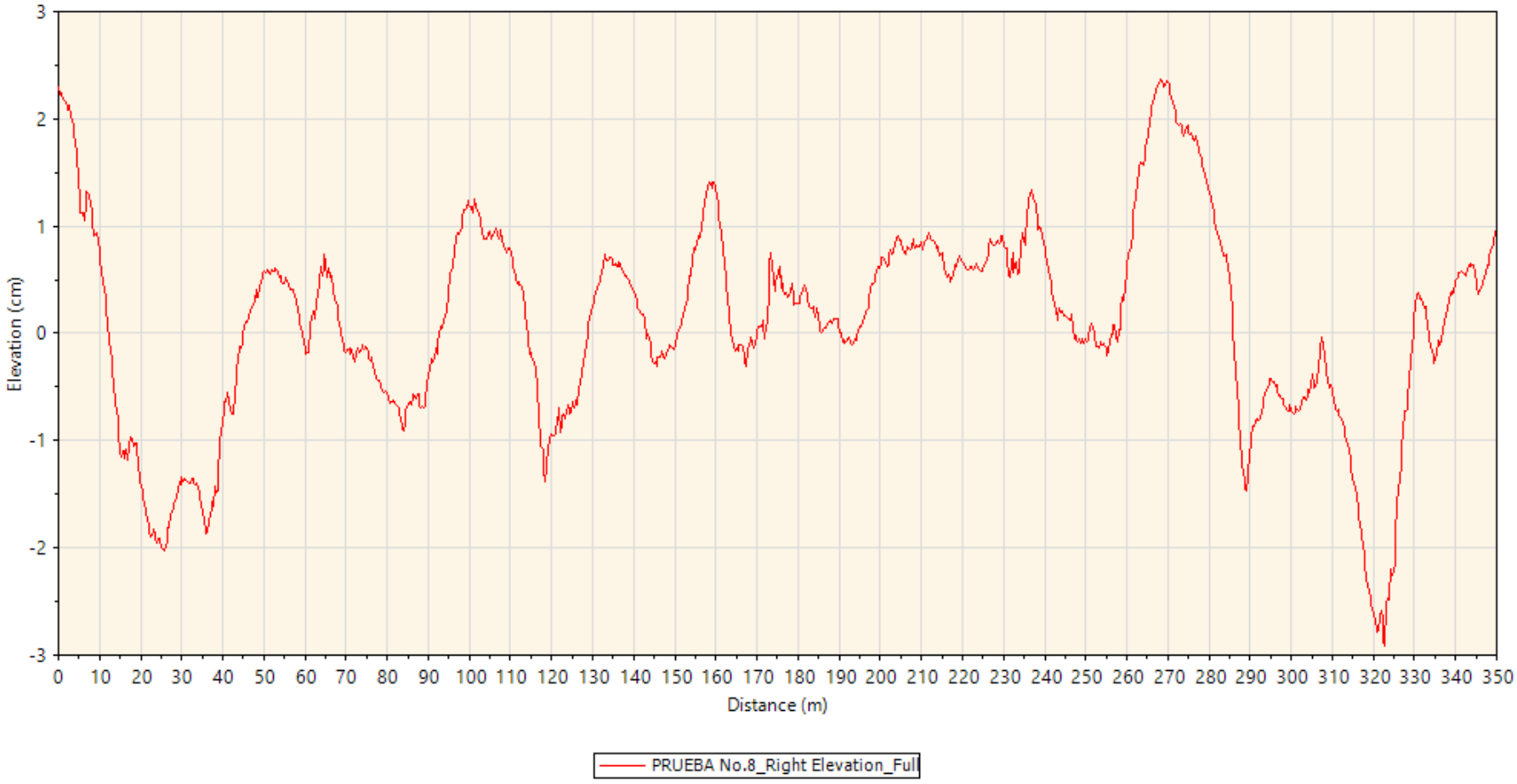

Figura No. 3.36 Perfil longitudinal de la prueba No. 8 en la huella derecha

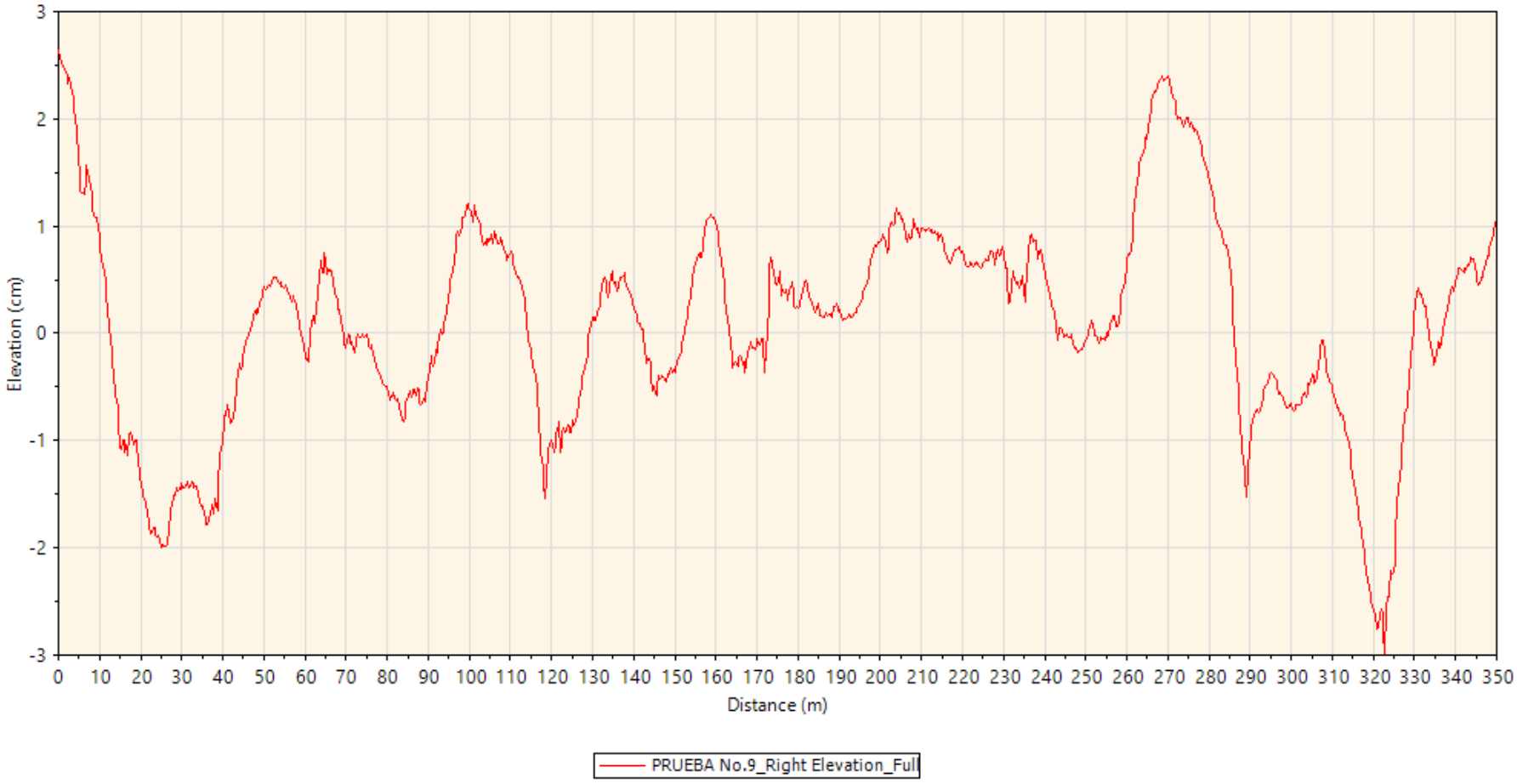

Figura No. 3.37 Perfil longitudinal de la prueba No. 9 en la huella derecha

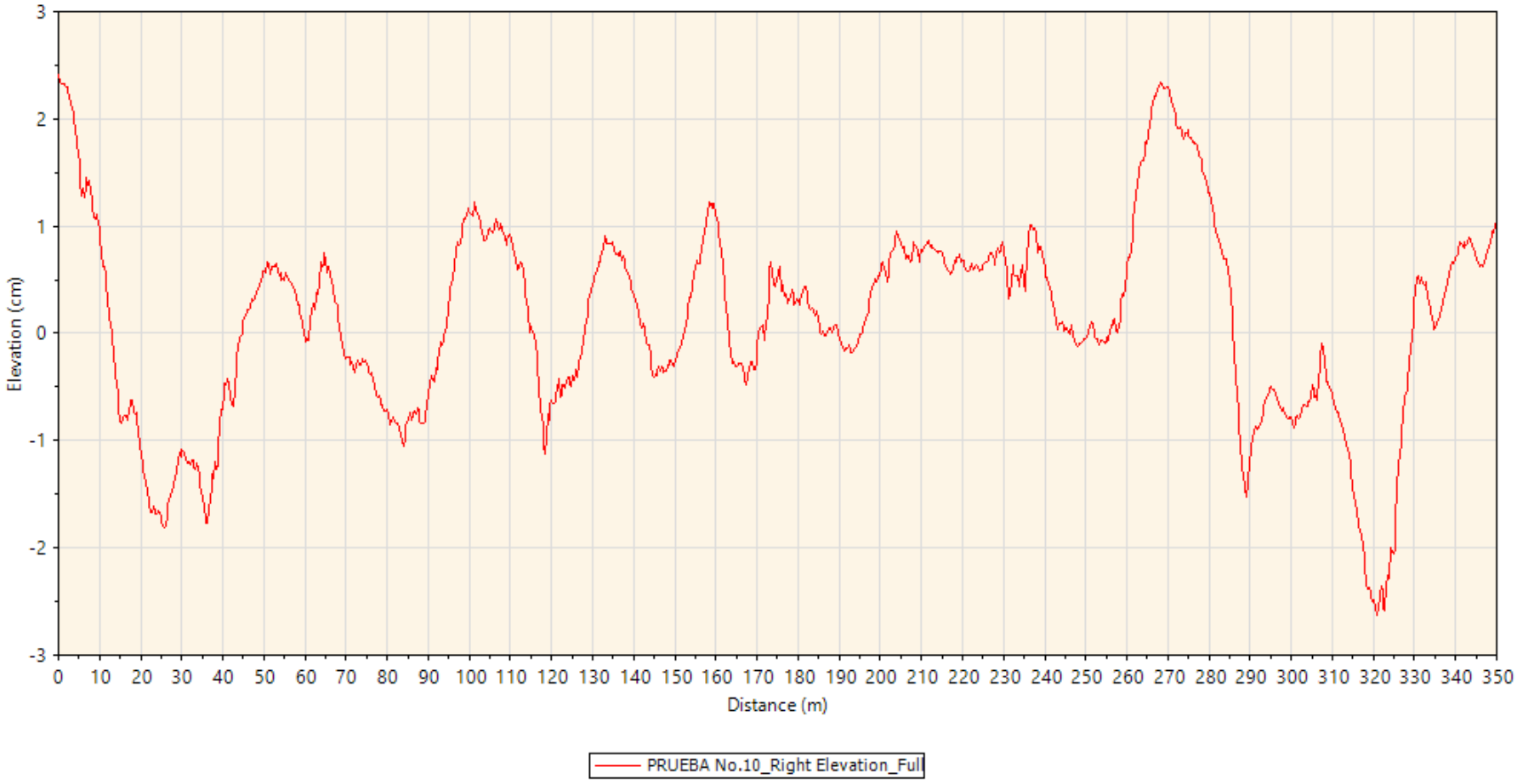

Figura No. 3.38 Perfil longitudinal de la prueba No. 10 en la huella derecha

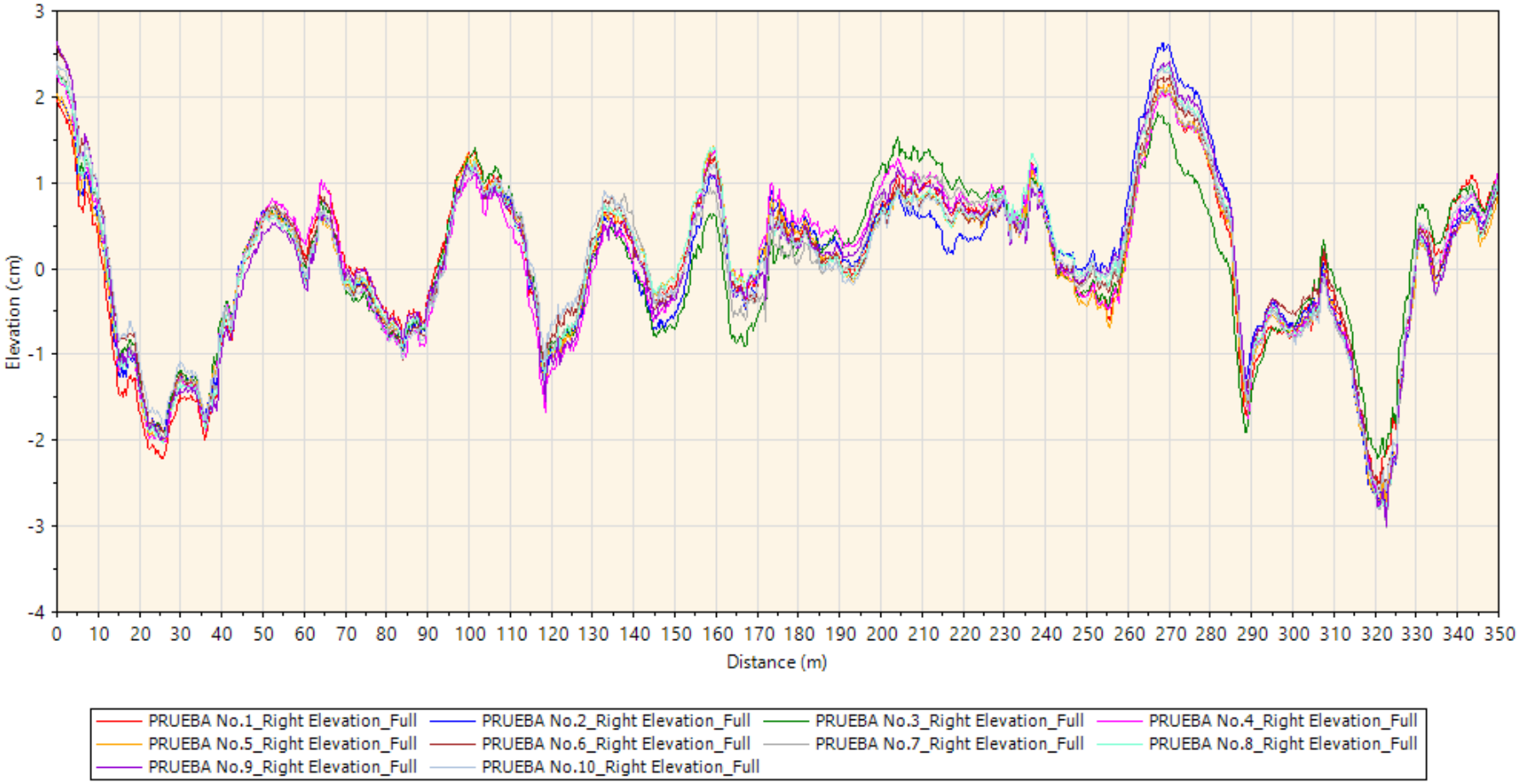

Figura No. 3.39 Perfil longitudinal de las diez pruebas realizadas en la huella derecha

El perfilómetro utilizado para realizar las pruebas es considerado un Clase 1, de acuerdo a la Norma ASTM E950-09, ya que cumple las condiciones de las Tablas No. 1 y No. 2.

TABLE 1 Longitudinal Sampling

Class 1	less than or equal to 25 mm [1 in.]
Class 2	greater than 25 mm [1 in.] to 150 mm [6 in.]
Class 3	greater than 150 mm [6 in.] to 300 mm [12 in.]
Class 4	greater than 300 mm [12 in.]

Figura No. 3.40 Tabla 1: Muestreo longitudinal

TABLE 2 Vertical Measurement Resolution

Class 1	less than or equal to 0.1 mm [0.005 in.]
Class 2	greater than 0.1 mm [0.005 in.] to 0.2 mm [0.010 in.]
Class 3	greater than 0.2 mm [0.010 in.] to 0.5 mm [0.020 in.]
Class 4	greater than 0.5 mm [0.020 in.]

Figura No. 3.41 Tabla 2: Resolución de medida vertical

Una vez realizado el análisis de Repetibilidad y Precisión en los 350 metros de prueba de la Ruta E28, bajo las condiciones propias de la superficie de rodadura, y conjugando la interacción Humano/Máquina, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Repetibilidad y Precisión: Clase 2
- Sesgo: Sin Clasificar

Los cálculos realizados para determinar Repetibilidad y Precisión se encuentran en el Anexo No. 4.

3.4. Medición de IRI en la Ruta E28

3.4.1. Introducción

El día 16 de agosto de 2013, se realizó el levantamiento del perfil longitudinal el cual será procesado con el fin de obtener el Índice de Rugosidad Internacional – IRI-, a lo largo de toda la ruta. Para este proceso, se tomó el Redondel de la Mitad del Mundo como inicio y la Intersección de la Ruta E28 con la Ruta E20 como fin.

Figura No. 3.42 Inicio del tramo Km 0+000

Figura No. 3.43 Fin del tramo Km 160+700

Figura No. 3.44 Ruta E28 Geo Referenciado

3.4.2. Metodología

Las modalidades empleadas fueron:

- Campo: se realizó el levantamiento de información in situ, elaborando el perfil longitudinal y posicionamiento georefenciado del tramo.
- Documental Bibliográfico: se consultó material bibliográfico sobre mantenimiento vial.

3.4.3. Evaluación de la Ruta E28

Para la evaluación, se realizó la siguiente configuración de prueba:

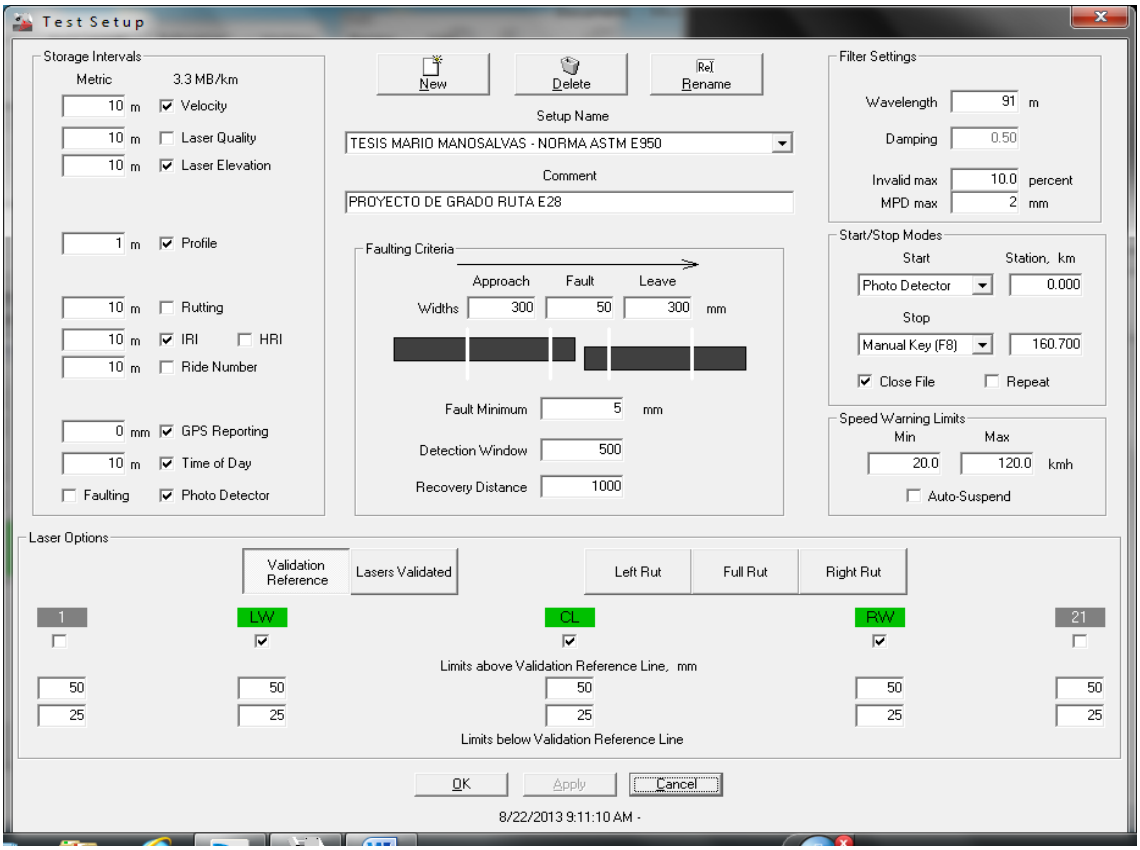

Figura No. 3.45 Configuración para medir la Ruta E28

En la Figura 3.42, se puede observar que la recolección de datos es la siguiente:

- Perfil Longitudinal cada 1 metro.
- Velocidad e IRI cada 10 metros.
- Geo-referenciación constante de la Ruta E28.

La información tomada en campo se encuentra en el Anexo No. 5 para ambos carriles de la Ruta E28, la forma de presentación será en formato digital debido a la cantidad de información.

A continuación, se realizará un promedio del perfil longitudinal cada 500 metros para la huella derecha en los dos sentidos de la Ruta E28 y de manera similar se hará para la velocidad y se mostrará en las Figuras No. 3.43 y No. 3.44 respectivamente.

En la Figura No. 3.41 se puede ver la geo-referenciación de la ruta medida.

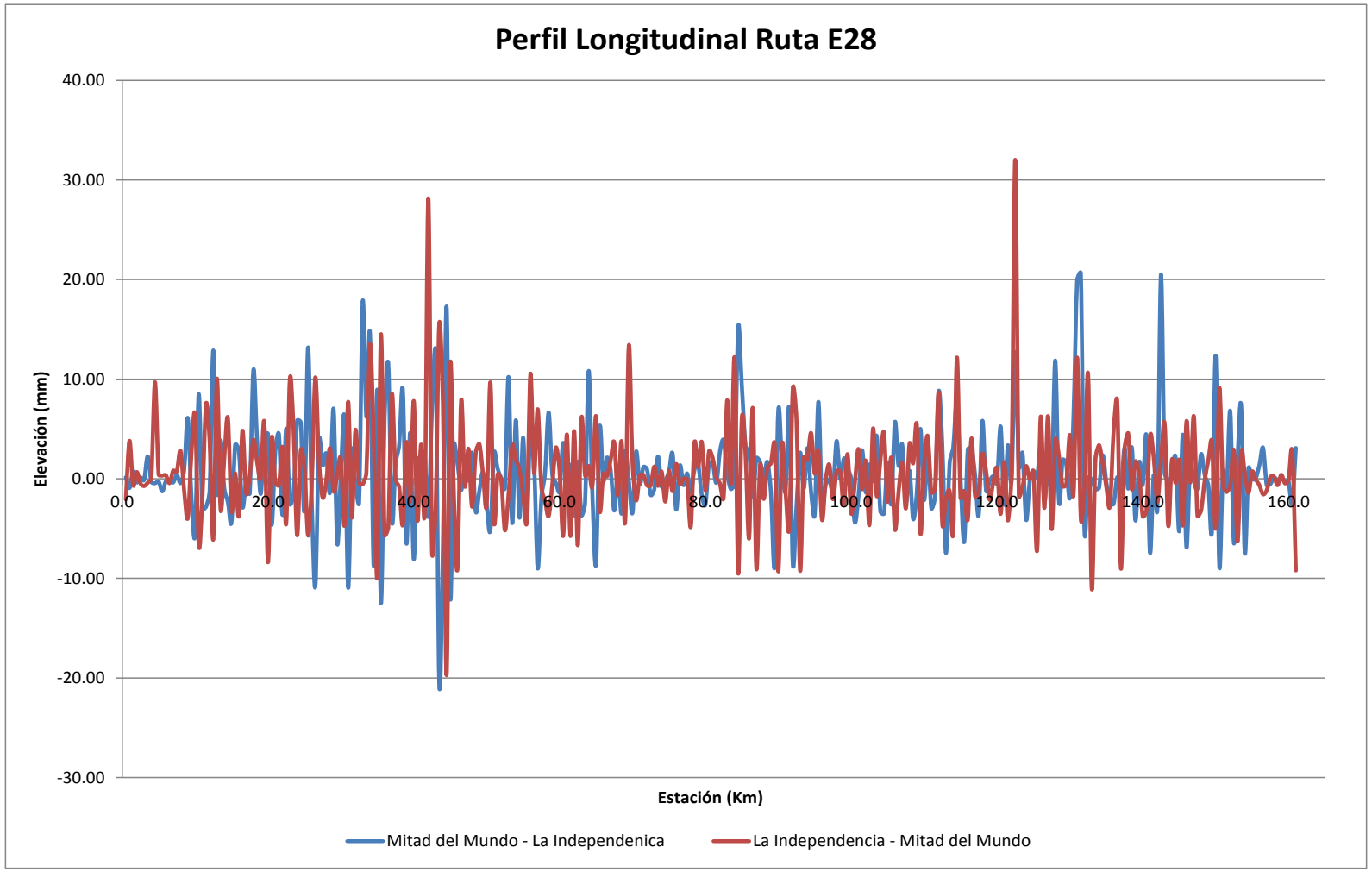

Figura No. 3.46 Perfil longitudinal cada 500 metros

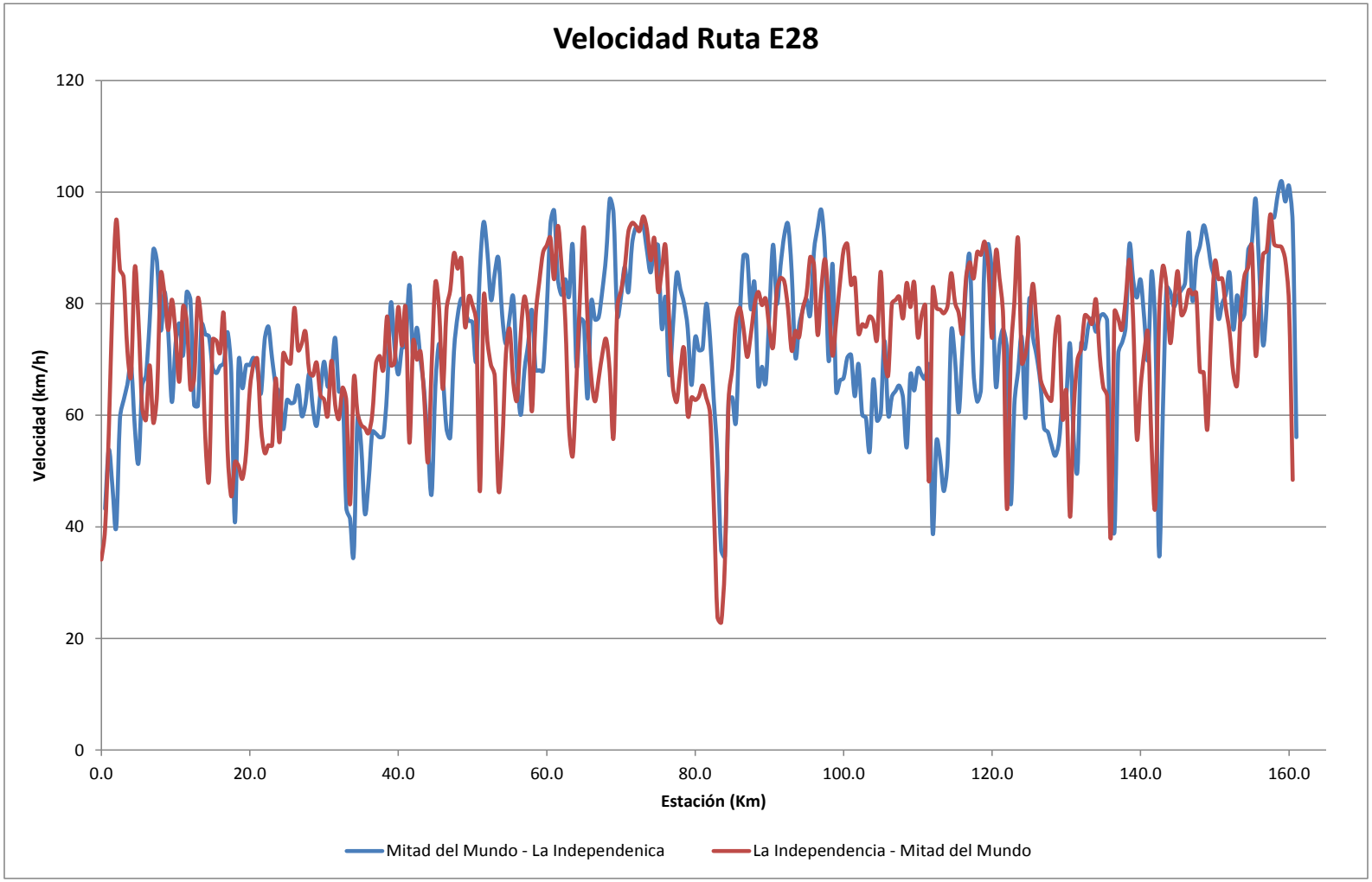

Figura No. 3.47 Perfil longitudinal cada 500 metros

CAPÍTULO IV: PROVAL (Profile Viewing and AnaLysis)

4.1. Introducción al Programa ProVAL

ProVAL es un software de ingeniería, que permite visualizar y analizar perfiles de pavimentos de diversas maneras, es patrocinado por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América, la Administración Federal de Carreteras (FHWA), y el programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (LTPP). Se puede importar perfiles de varios formatos y guardarlos en el archivo estándar del perfil del pavimento PPF (Pavement Profile Standard File).

Debido a que ProVAL es un software libre, cualquier persona puede descargarlo de la página www.roadprofile.com donde encontrará información actualizada y las diferentes versiones que el programa tiene.[12]

4.2. Utilización del software ProVAL en el tramo de prueba

El software ProVAL, se utilizará para obtener el Índice de Rugosidad Internacional, en el tramo de prueba, para los dos equipos utilizados, con la finalidad de tener un parámetro de comparación y poder generar conclusiones sobre los valores obtenidos.

[12] Información Brochure. Recuperado el 25 de Agosto de 2013, de http://www.roadprofile.com/download/ProVAL-Intro-Spanish.pdf

4.2.1. Ingreso del perfil obtenido con mira y nivel

El perfil que se ha ingresado al programa, se puede observar en el Capítulo II / Figura No. 2.11.

4.2.2. Obtención de IRI con el perfil topográfico

4.2.2.1 Cálculo de IRI cada 50 metros

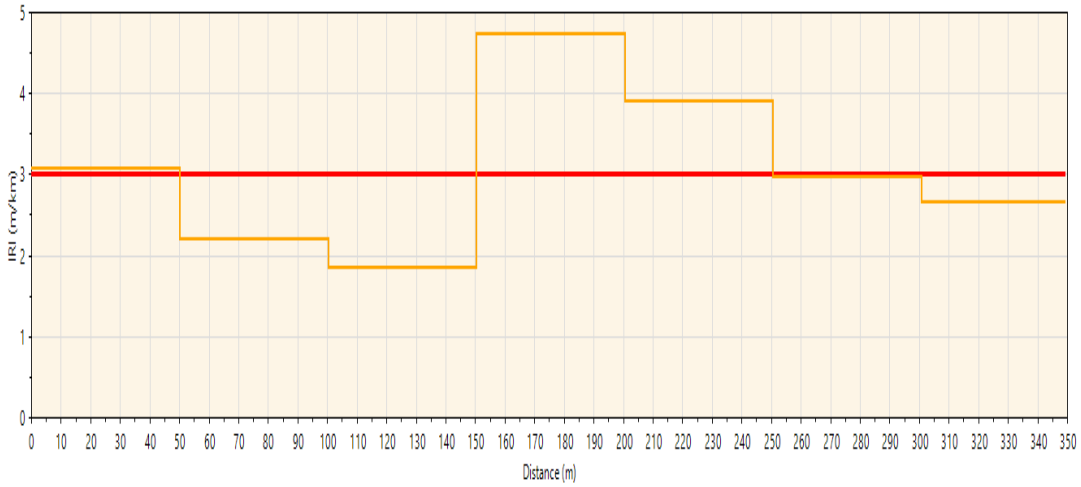

Figura No. 4.1 IRI cada 50 metros

Tabla No. 4.1 IRI cada 50 metros, promedio del tramo 3.10 m/km

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	Elev. - IRI (m/km)
0	50	50	3.1
50	100	50	2.2
100	150	50	1.8
150	200	50	4.7
200	250	50	3.9
250	300	50	3.0
300	350	50	2.6

4.2.2.2 Cálculo de IRI cada 100 metros

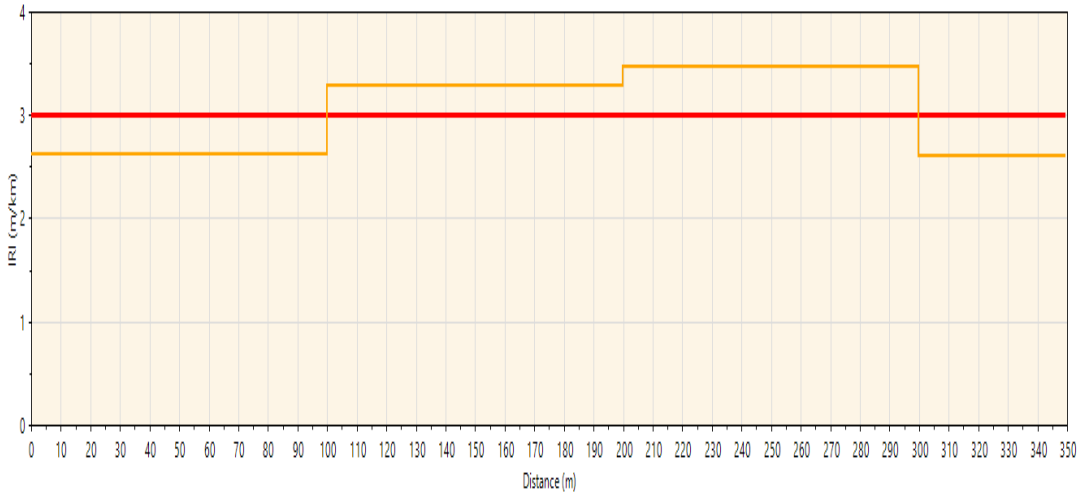

Figura No. 4.2 IRI cada 100 metros

Tabla No. 4.2 IRI cada 100 metros, promedio del tramo 2.99 m/km

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	Elev. - IRI (m/km)
0	100	100	2.61
100	200	100	3.29
200	300	100	3.47
300	350	50	2.60

4.2.2.3 Cálculo de IRI cada 200 metros

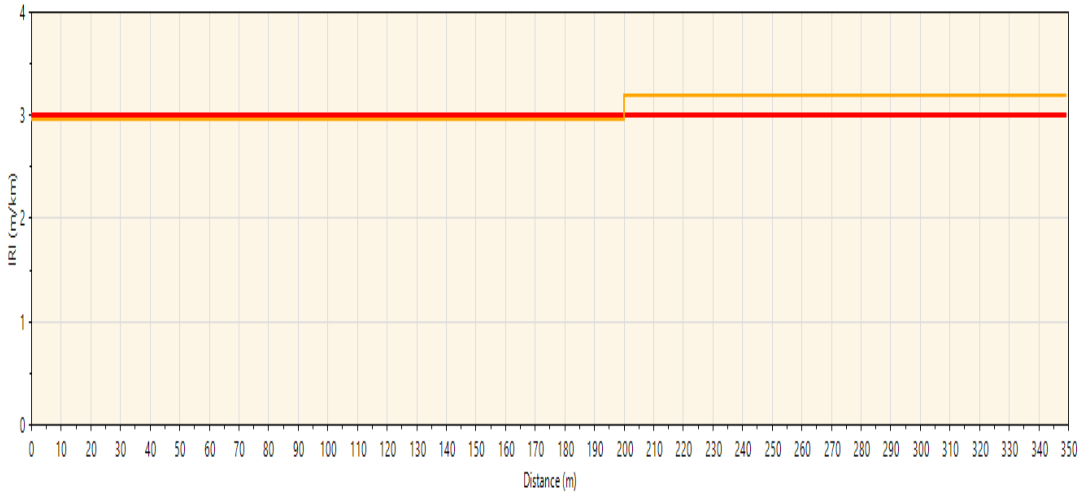

Figura No. 4.3 IRI cada 200 metros

Tabla No. 4.3 IRI cada 200 metros, promedio del tramo 3.07 m/km

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	Elev. - IRI (m/km)
0	200	200	2.95
200	350	150	3.19

4.2.2.4 Cálculo de IRI del tramo

Tabla No. 4.4 IRI del tramo

File	Profile	IRI (m/km)
Nivelación Mira y Nivel	Elev.	3.05

4.2.3 Obtención de IRI con el Perfilómetro Inercial Mark III

Para la realización de los cálculos, se utilizarán todas las pruebas de campo pero en este apartado, únicamente se muestra la Prueba No.1, las tablas de cálculo para las demás pruebas se encuentran en el Anexo No.6. De manera similar, se utilizará el Documento Técnico MOP como unidad de control (Ver Figura 1.7).

4.2.3.1. Cálculo de IRI cada 50 metros

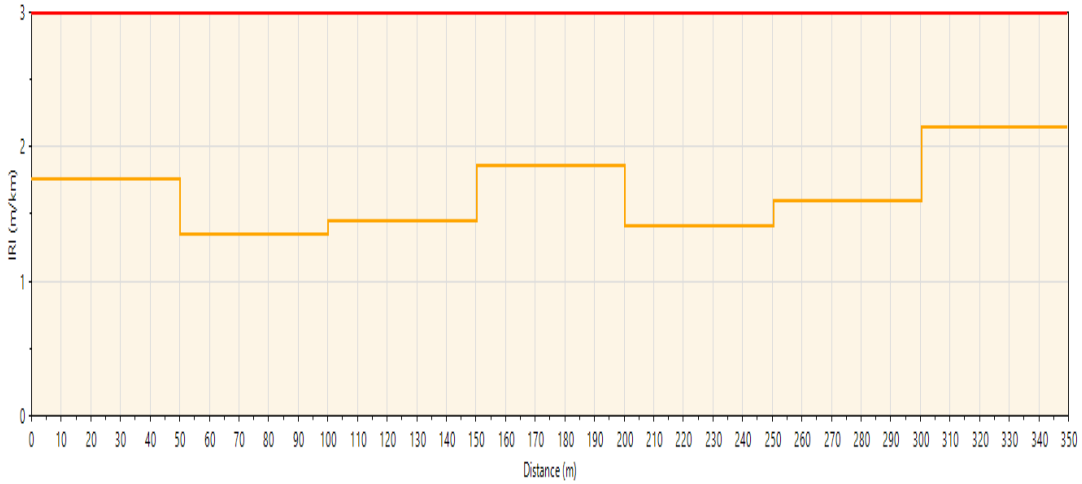

Figura No. 4.4 IRI cada 50 metros

Tabla No. 4.5 IRI cada 50 metros, promedio del tramo 1.65 m/km

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	PRUEBA No.1 (m/km)
0	50	50	1.76
50	100	50	1.34
100	150	50	1.44
150	200	50	1.86
200	250	50	1.41
250	300	50	1.60
300	350	50	2.15

4.2.3.2 Cálculo de IRI cada 100 metros

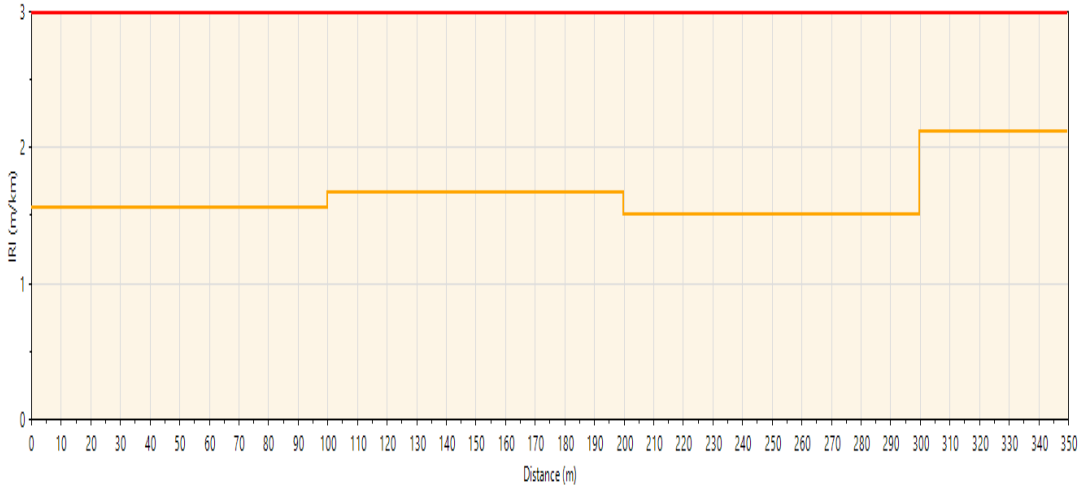

Figura No. 4.5 IRI cada 100 metros

Tabla No. 4.6 IRI cada 100 metros, promedio del tramo 1.71 m/km

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	PRUEBA No.1 (m/km)
0	100	100	1.55
100	200	100	1.66
200	300	100	1.51
300	350	50	2.11

4.2.3.3 Cálculo de IRI cada 200 metros

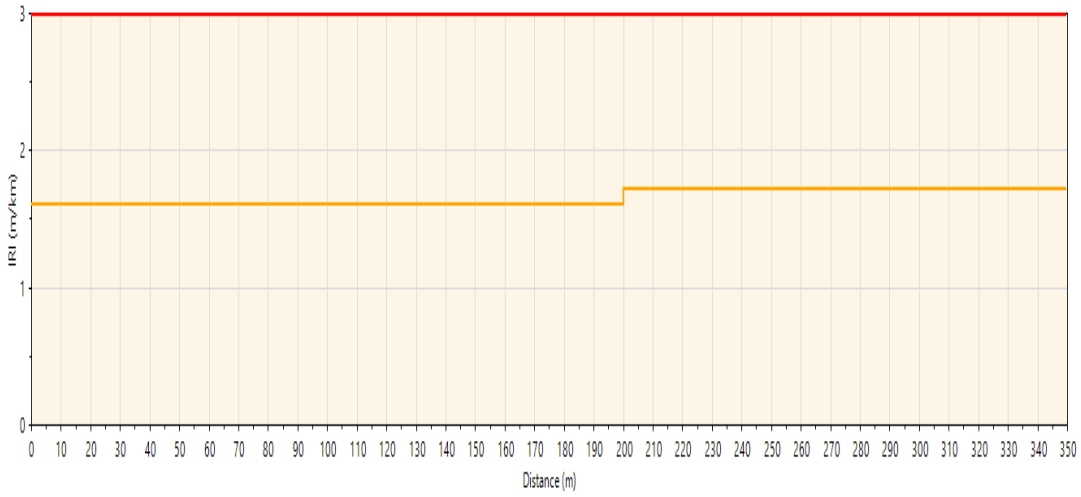

Figura No. 4.6 IRI cada 200 metros

Tabla No. 4.7 IRI cada 200 metros, promedio del tramo 1.66 m/km

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	PRUEBA No.1 (m/km)
0	200	200	1.60
200	350	150	1.72

4.2.3.4 Cálculo de IRI del tramo

Tabla No. 4.8 IRI del tramo

File	Profile	IRI (m/km)
PRUEBA No.1	Right Elevation	1.65

4.3 Utilización del software ProVAL en la Ruta E28

Para la realización de los cálculos, se hará un análisis para cada sentido de la carretera en la huella derecha, la información de campo que es la base de los cálculos se encuentra en el Anexo No. 5. De manera similar, se empleará el Documento Técnico MOP como unidad de control (Ver Figura 1.7). Las tablas de cálculo se encuentran el en Anexo No.7, se presentará en un formato mixto, las tablas generadas cada 100 metros y 200 metros estarán en formato digital mientras que las tabas cada 500 metros y 1 kilómetro estarán en formato físico.

4.3.1 Cálculo de IRI cada 100 metros

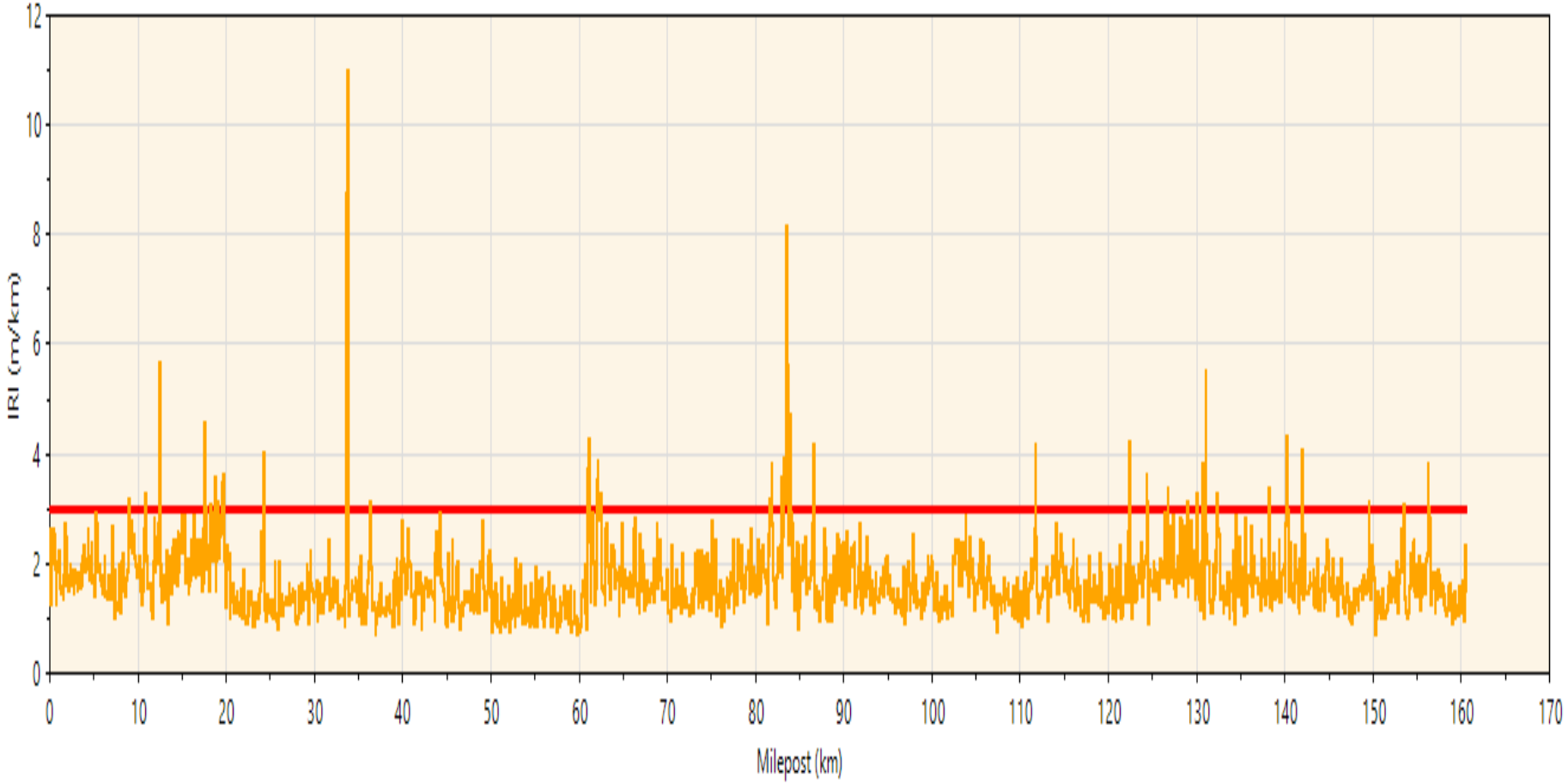

Figura No. 4.7 IRI cada 100 metros, Mitad del Mundo – La Independencia, promedio del tramo 1.65 m/km

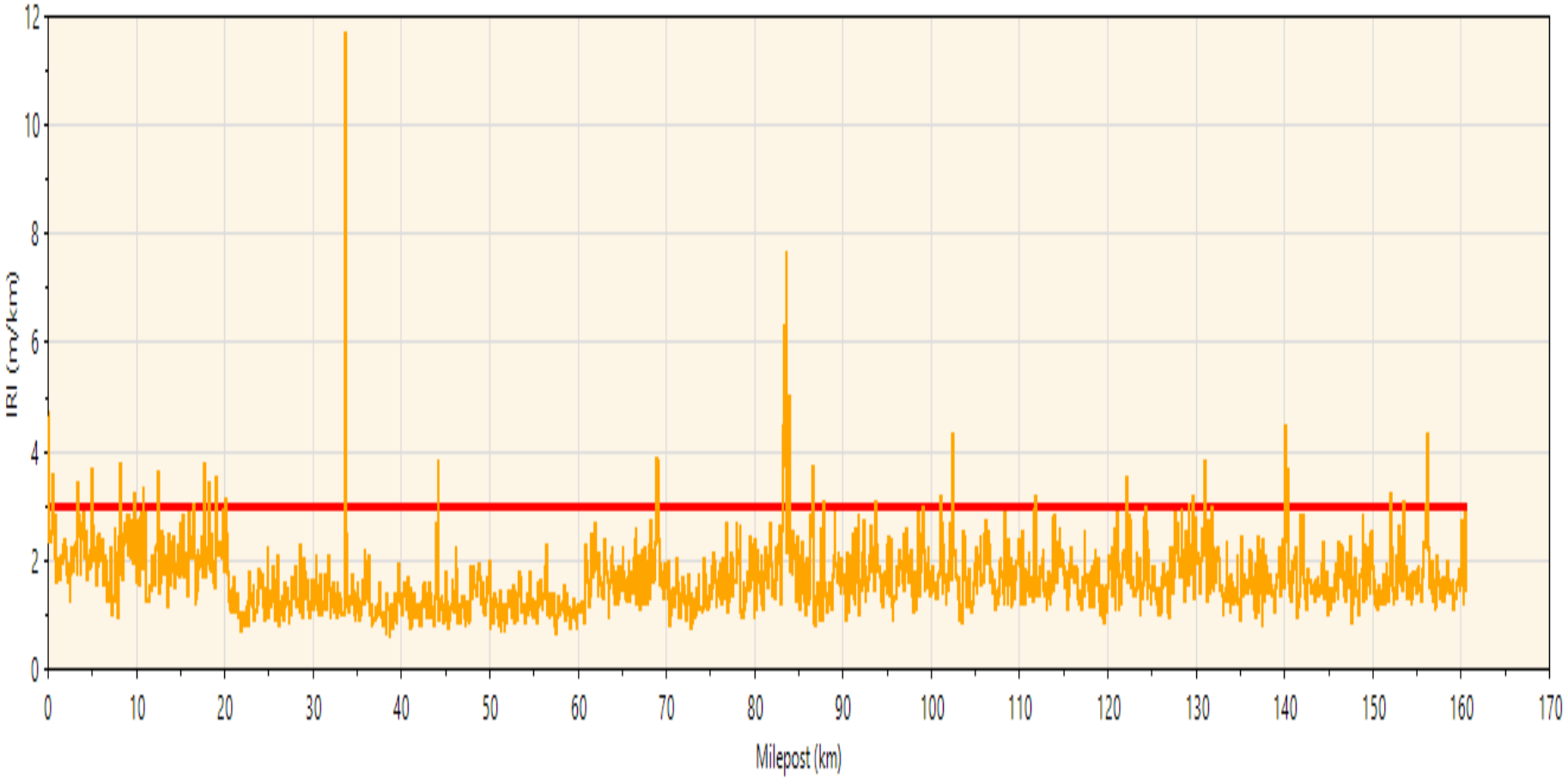

Figura No. 4.8 IRI cada 100 metros, La Independencia – Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km

4.3.2 Cálculo de IRI cada 200 metros

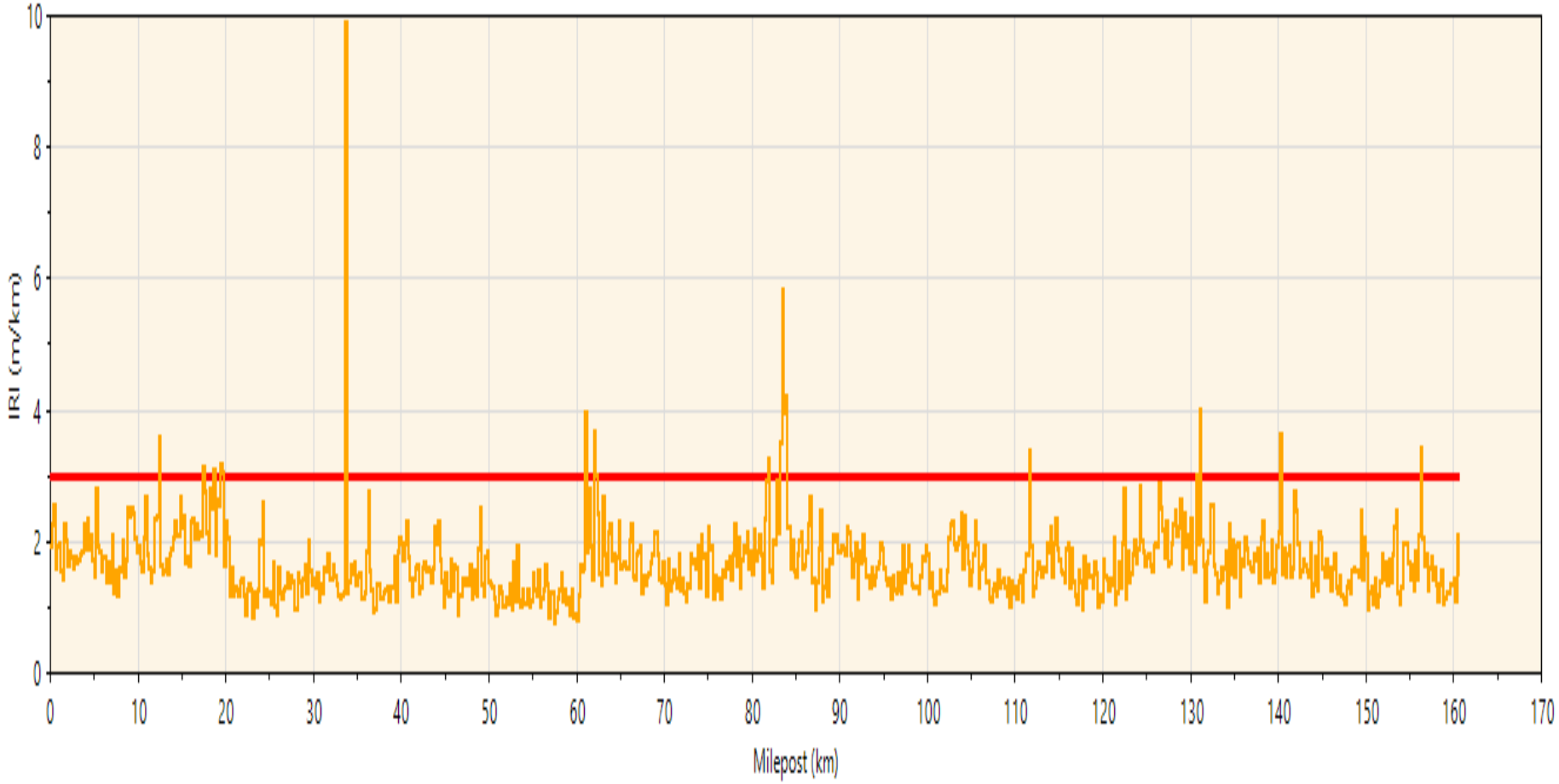

Figura No. 4.9 IRI cada 200 metros, Mitad del Mundo – La Independencia, promedio del tramo 1.65 m/km

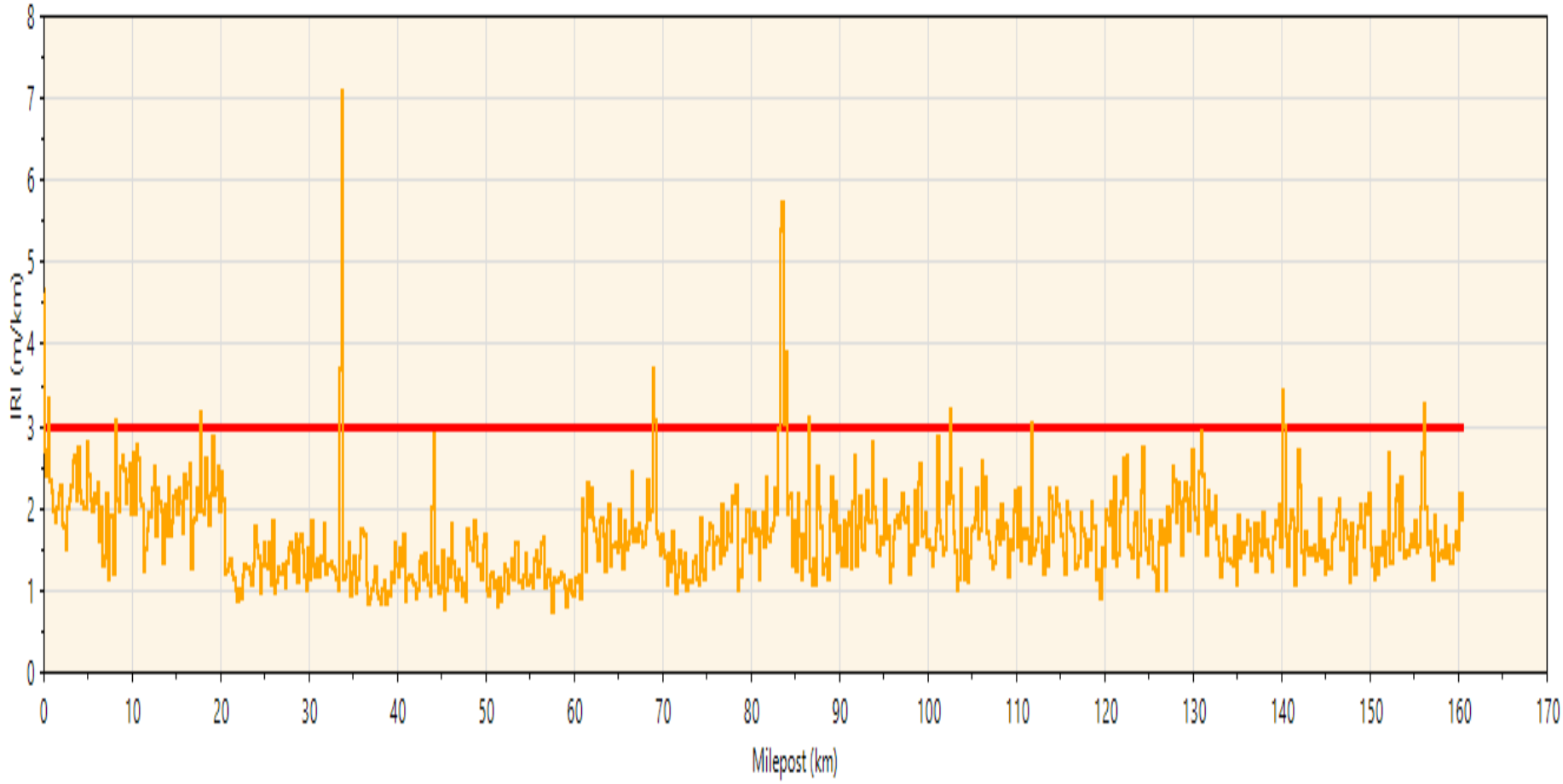

Figura No. 4.10 IRI cada 200 metros, La Independencia – Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km

4.3.3 Cálculo de IRI cada 500 metros

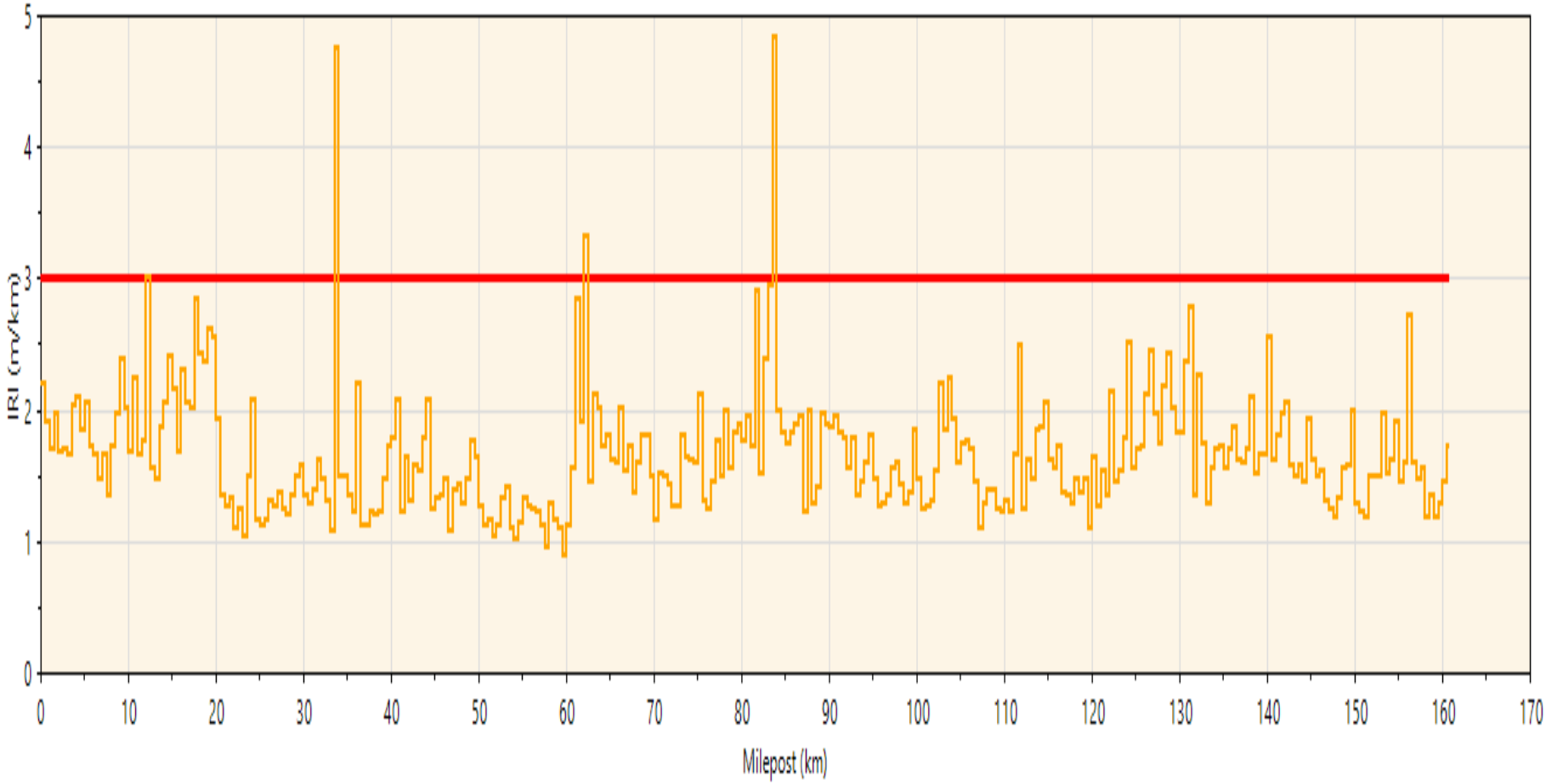

Figura No. 4.11 IRI cada 500 metros, Mitad del Mundo – La Independencia, promedio del tramo 1.66 m/km

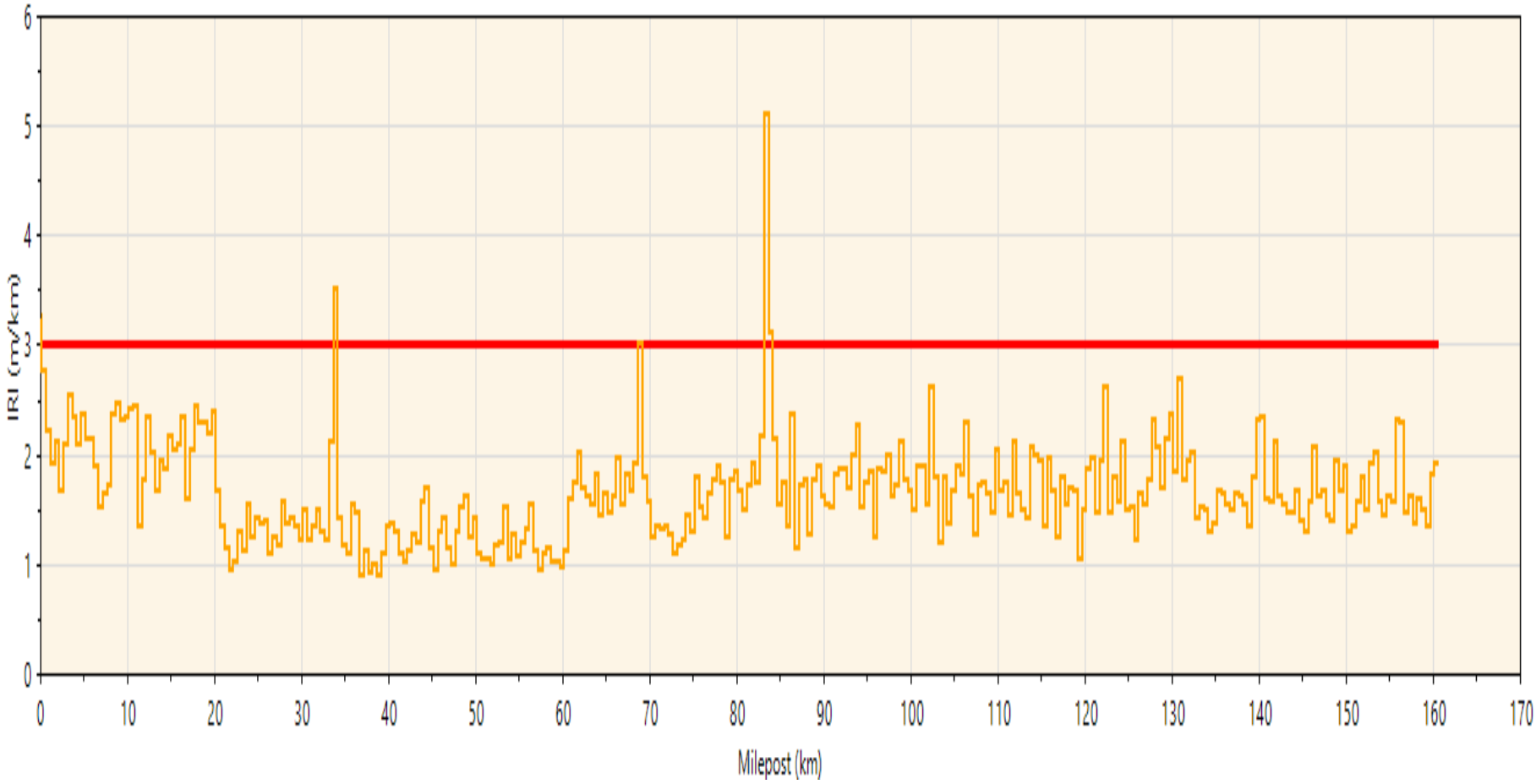

Figura No. 4.12 IRI cada 500 metros, La Independencia – Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km

4.3.4 Cálculo de IRI cada 1000 metros

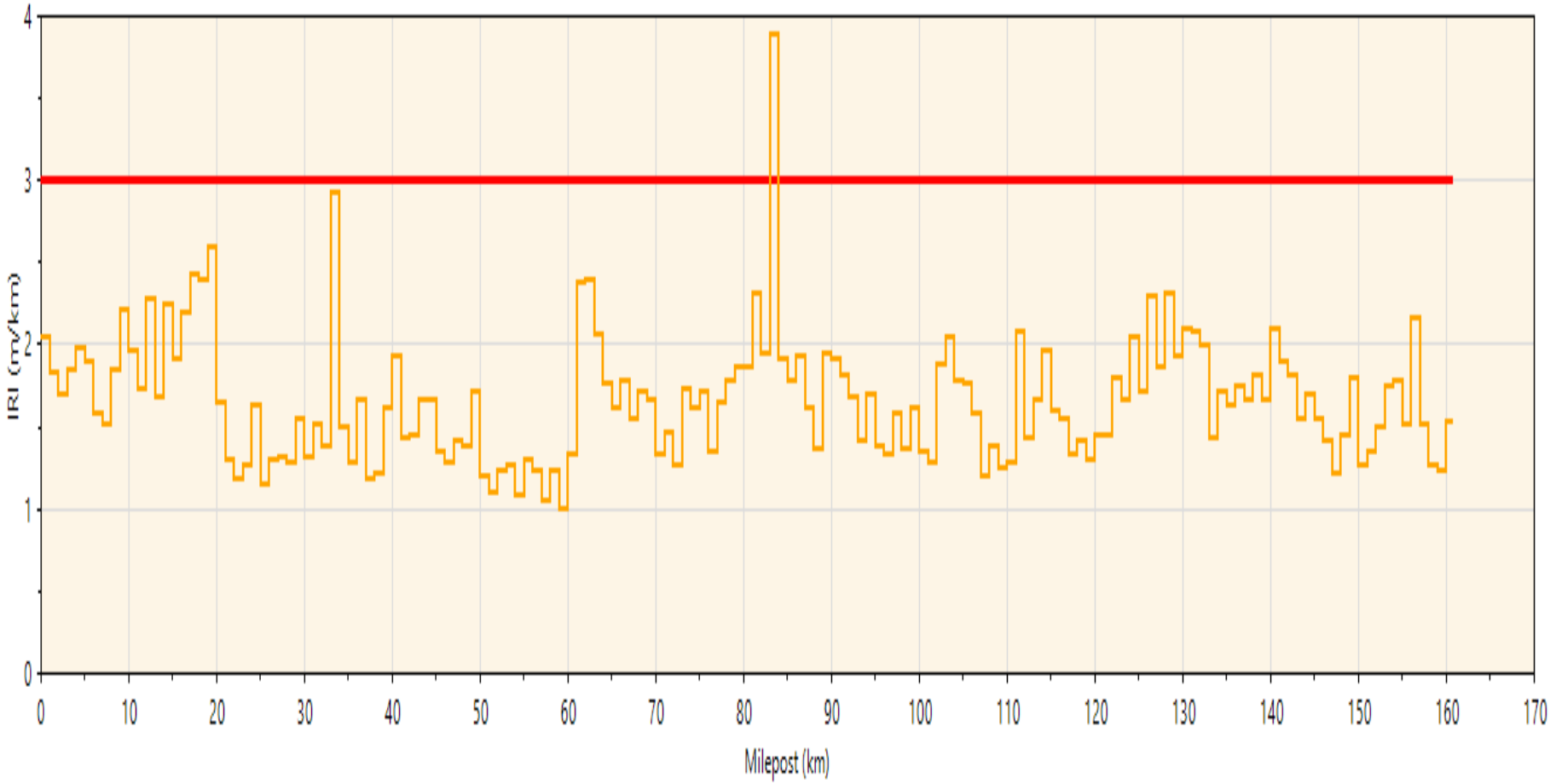

Figura No. 4.13 IRI cada 1000 metros, Mitad del Mundo – La Independencia, promedio del tramo 1.65 m/km

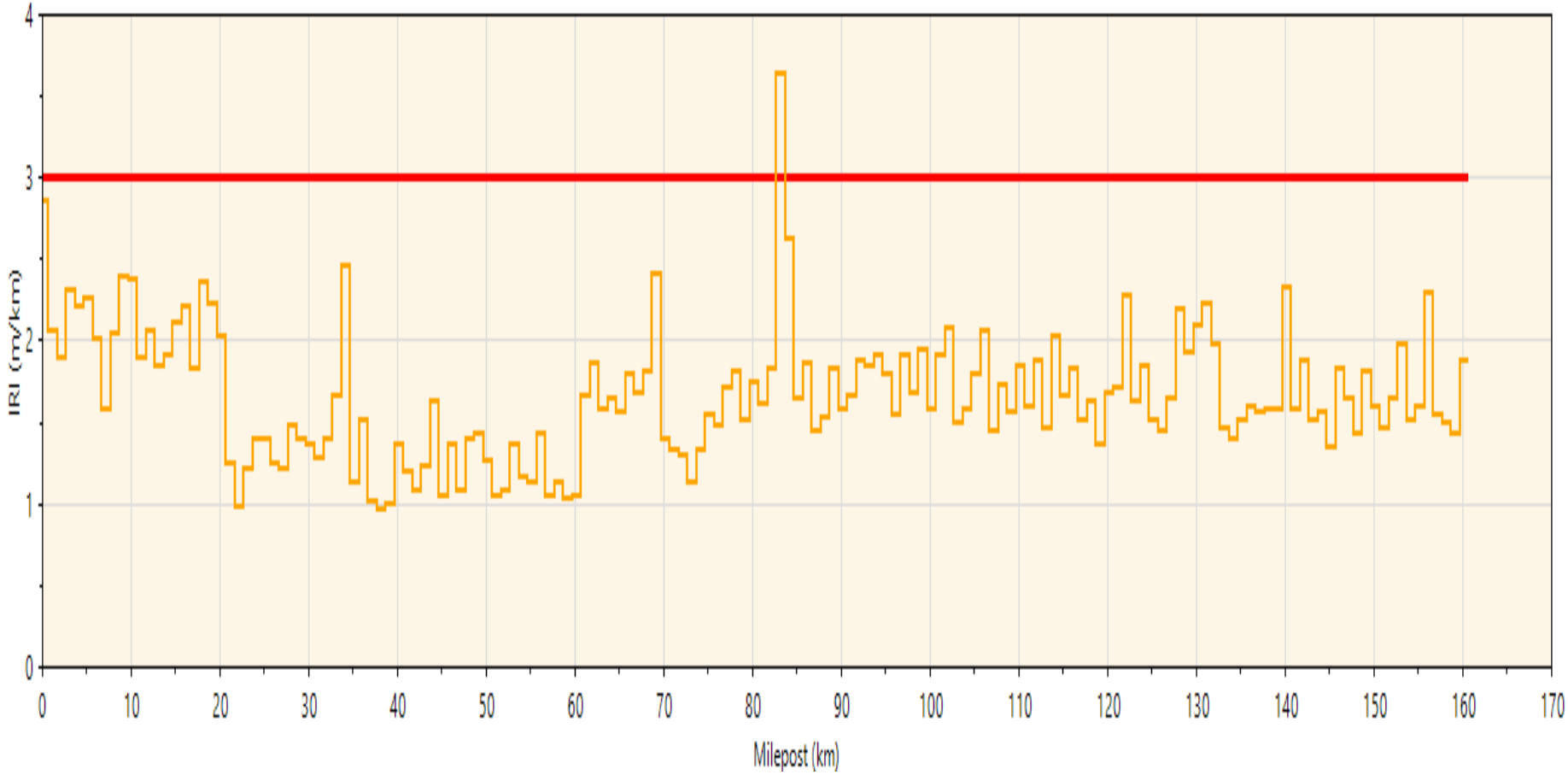

Figura No. 4.14 IRI cada 1000 metros, La Independencia – Mitad del Mundo, promedio del tramo 1.66 m/km

4.3.5 Ubicación GPS de los cálculos en el Ítem 4.3.4

En el ítem 4.3.4, se realizó los promedios cada kilómetro (Ver Figuras Nos. 4.13 - 4.14 y Anexo No. 7) del Índice de Rugosidad Internacional para la Ruta E28 en ambos sentidos. En la Tabla No. 4.9, se presenta una escala de colores para clasificar la condición del pavimento tomando como referencia el Documento Técnico del MOP (Ver Figura 1.7) para generar dicha clasificación.

Tabla No. 4.9 Escala de colores en función del IRI

Valor de Índice de Rugosidad Internacional		Color
Desde	**Hasta**	
0.00	1.50	
1.50	2.50	
2.50	3.50	
Mayor a 3.50		

A continuación, se presentan las Tablas Nos. 4.10 y 4.11 donde se clasifica la condición del pavimento de acuerdo a la Tabla No. 4.9.

Tabla No. 4.10 Condición del pavimento

Sentido: Mitad del Mundo – La Independencia

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
0.00	1.00	-0.0039286	-78.4526756	2.05	
1.00	2.00	0.0010486	-78.4582933	1.83	
2.00	3.00	0.0064169	-78.4652711	1.69	
3.00	4.00	0.0138928	-78.4702222	1.85	
4.00	5.00	0.0175444	-78.4769067	1.97	
5.00	6.00	0.0122669	-78.4839644	1.89	
6.00	7.00	0.0046936	-78.4881067	1.57	
7.00	8.00	0.0032231	-78.4966044	1.50	
8.00	9.00	0.0003494	-78.5052089	1.84	
9.00	10.00	-0.0024367	-78.5136711	2.20	
10.00	11.00	-0.0041483	-78.5171556	1.96	
11.00	12.00	-0.0030769	-78.5240444	1.72	
12.00	13.00	-0.0013261	-78.5325422	2.27	
13.00	14.00	0.0033686	-78.5397156	1.68	
14.00	15.00	0.0067222	-78.5470489	2.23	
15.00	16.00	0.0098931	-78.5554400	1.92	
16.00	17.00	0.0110619	-78.5621689	2.19	
17.00	18.00	0.0099342	-78.5696356	2.43	
18.00	19.00	0.0067692	-78.5734489	2.39	
19.00	20.00	0.0063247	-78.5814400	2.59	
20.00	21.00	0.0097789	-78.5876089	1.64	
21.00	22.00	0.0038661	-78.5896444	1.29	
22.00	23.00	0.0105211	-78.5930400	1.18	
23.00	24.00	0.0160758	-78.5991733	1.26	
24.00	25.00	0.0209272	-78.6041067	1.63	
25.00	26.00	0.0197175	-78.6106133	1.14	
26.00	27.00	0.0223694	-78.6120711	1.29	
27.00	28.00	0.0250806	-78.6183556	1.31	
28.00	29.00	0.0294033	-78.6227467	1.28	
29.00	30.00	0.0307944	-78.6288978	1.54	
30.00	31.00	0.0247900	-78.6293511	1.32	
31.00	32.00	0.0285300	-78.6330756	1.50	
32.00	33.00	0.0252989	-78.6409778	1.38	
33.00	34.00	0.0245578	-78.6465867	2.92	
34.00	35.00	0.0243536	-78.6517867	1.50	
35.00	36.00	0.0281125	-78.6543022	1.28	
36.00	37.00	0.0319825	-78.6581422	1.66	
37.00	38.00	0.0332808	-78.6649778	1.18	
38.00	39.00	0.0370475	-78.6712622	1.22	
39.00	40.00	0.0347508	-78.6763378	1.60	

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
40.00	41.00	0.0322656	-78.6812800	1.92	
41.00	42.00	0.0397014	-78.6781689	1.43	
42.00	43.00	0.0482094	-78.6805156	1.44	
43.00	44.00	0.0553169	-78.6831378	1.66	
44.00	45.00	0.0626506	-78.6817067	1.66	
45.00	46.00	0.0675750	-78.6873511	1.35	
46.00	47.00	0.0751972	-78.6915467	1.28	
47.00	48.00	0.0707214	-78.6926578	1.41	
48.00	49.00	0.0620094	-78.6930400	1.38	
49.00	50.00	0.0552636	-78.6983733	1.71	
50.00	51.00	0.0482522	-78.6944711	1.19	
51.00	52.00	0.0454014	-78.7015378	1.10	
52.00	53.00	0.0432658	-78.7101422	1.22	
53.00	54.00	0.0393839	-78.7170489	1.26	
54.00	55.00	0.0321136	-78.7211733	1.08	
55.00	56.00	0.0272217	-78.7231289	1.29	
56.00	57.00	0.0210853	-78.7273244	1.23	
57.00	58.00	0.0171019	-78.7320444	1.04	
58.00	59.00	0.0097769	-78.7318578	1.22	
59.00	60.00	0.0084083	-78.7333244	1.00	
60.00	61.00	0.0066775	-78.7411644	1.33	
61.00	62.00	-0.0012747	-78.7454667	2.38	
62.00	63.00	-0.0100792	-78.7447644	2.38	
63.00	64.00	-0.0176819	-78.7471378	2.06	
64.00	65.00	-0.0212794	-78.7512889	1.77	
65.00	66.00	-0.0290842	-78.7511467	1.61	
66.00	67.00	-0.0268889	-78.7597156	1.78	
67.00	68.00	-0.0252006	-78.7678667	1.54	
68.00	69.00	-0.0222425	-78.7749244	1.71	
69.00	70.00	-0.0189042	-78.7831644	1.65	
70.00	71.00	-0.0171989	-78.7919111	1.33	
71.00	72.00	-0.0125694	-78.7991467	1.46	
72.00	73.00	-0.0066386	-78.8058489	1.26	
73.00	74.00	-0.0014300	-78.8130311	1.72	
74.00	75.00	0.0032292	-78.8206400	1.61	
75.00	76.00	0.0083547	-78.8280978	1.71	
76.00	77.00	0.0145003	-78.8343467	1.35	
77.00	78.00	0.0177950	-78.8421244	1.64	
78.00	79.00	0.0213825	-78.8504444	1.77	
79.00	80.00	0.0249556	-78.8587200	1.85	
80.00	81.00	0.0253356	-78.8657600	1.86	
81.00	82.00	0.0240111	-78.8738489	2.31	
82.00	83.00	0.0236214	-78.8825600	1.95	
83.00	84.00	0.0229683	-78.8910578	3.88	

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
84.00	85.00	0.0261372	-78.8984533	1.91	
85.00	86.00	0.0318258	-78.9048800	1.78	
86.00	87.00	0.0366942	-78.9115111	1.93	
87.00	88.00	0.0399542	-78.9192533	1.61	
88.00	89.00	0.0451642	-78.9263556	1.35	
89.00	90.00	0.0511175	-78.9326667	1.94	
90.00	91.00	0.0564397	-78.9394489	1.91	
91.00	92.00	0.0625017	-78.9456711	1.81	
92.00	93.00	0.0684422	-78.9500800	1.68	
93.00	94.00	0.0708450	-78.9584356	1.40	
94.00	95.00	0.0725436	-78.9666222	1.69	
95.00	96.00	0.0722597	-78.9751200	1.37	
96.00	97.00	0.0745119	-78.9834933	1.32	
97.00	98.00	0.0739147	-78.9921600	1.58	
98.00	99.00	0.0751214	-79.0002400	1.36	
99.00	100.00	0.0814375	-79.0064622	1.61	
100.00	101.00	0.0767156	-79.0135556	1.35	
101.00	102.00	0.0750672	-79.0224444	1.29	
102.00	103.00	0.0788239	-79.0300978	1.87	
103.00	104.00	0.0812086	-79.0372622	2.05	
104.00	105.00	0.0823894	-79.0447822	1.77	
105.00	106.00	0.0831800	-79.0532356	1.76	
106.00	107.00	0.0882522	-79.0600444	1.57	
107.00	108.00	0.0930503	-79.0674222	1.19	
108.00	109.00	0.0971278	-79.0752711	1.39	
109.00	110.00	0.0957383	-79.0838311	1.24	
110.00	111.00	0.0975925	-79.0922044	1.27	
111.00	112.00	0.1010903	-79.0995556	2.08	
112.00	113.00	0.1027336	-79.1080267	1.43	
113.00	114.00	0.0981106	-79.1153422	1.66	
114.00	115.00	0.0979789	-79.1239289	1.96	
115.00	116.00	0.0980342	-79.1320711	1.59	
116.00	117.00	0.1016269	-79.1388178	1.54	
117.00	118.00	0.1017928	-79.1470489	1.33	
118.00	119.00	0.1047106	-79.1549778	1.42	
119.00	120.00	0.1056894	-79.1636533	1.29	
120.00	121.00	0.1093044	-79.1718044	1.45	
121.00	122.00	0.1089244	-79.1801422	1.45	
122.00	123.00	0.1121614	-79.1882933	1.78	
123.00	124.00	0.1100369	-79.1968089	1.66	
124.00	125.00	0.1110792	-79.2044000	2.03	
125.00	126.00	0.1142458	-79.2120356	1.71	
126.00	127.00	0.1157050	-79.2206844	2.28	
127.00	128.00	0.1209633	-79.2270133	1.85	

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
128.00	129.00	0.1255856	-79.2329778	2.30	
129.00	130.00	0.1232189	-79.2379200	1.92	
130.00	131.00	0.1229631	-79.2466311	2.09	
131.00	132.00	0.1200428	-79.2545333	2.07	
132.00	133.00	0.1170208	-79.2623733	2.00	
133.00	134.00	0.1127558	-79.2565778	1.42	
134.00	135.00	0.1075100	-79.2499644	1.71	
135.00	136.00	0.1037936	-79.2424089	1.63	
136.00	137.00	0.0961753	-79.2408000	1.74	
137.00	138.00	0.0890931	-79.2370667	1.65	
138.00	139.00	0.0817039	-79.2379200	1.80	
139.00	140.00	0.0728339	-79.2385956	1.66	
140.00	141.00	0.0676906	-79.2453244	2.09	
141.00	142.00	0.0601806	-79.2473244	1.89	
142.00	143.00	0.0530453	-79.2525600	1.82	
143.00	144.00	0.0483189	-79.2587556	1.54	
144.00	145.00	0.0445600	-79.2668000	1.69	
145.00	146.00	0.0432683	-79.2752978	1.55	
146.00	147.00	0.0462475	-79.2828089	1.42	
147.00	148.00	0.0437739	-79.2909244	1.21	
148.00	149.00	0.0461436	-79.2996533	1.44	
149.00	150.00	0.0473586	-79.3084267	1.79	
150.00	151.00	0.0507936	-79.3157778	1.26	
151.00	152.00	0.0506933	-79.3243911	1.34	
152.00	153.00	0.0488333	-79.3326578	1.50	
153.00	154.00	0.0445297	-79.3400889	1.73	
154.00	155.00	0.0429583	-79.3480089	1.77	
155.00	156.00	0.0428408	-79.3569778	1.52	
156.00	157.00	0.0431461	-79.3652622	2.16	
157.00	158.00	0.0439744	-79.3739378	1.51	
158.00	159.00	0.0446386	-79.3824978	1.27	
159.00	160.00	0.0453458	-79.3917867	1.23	
160.00	160.69	0.0460644	-79.4007378	1.52	

En la Figura No. 4.19, se muestra de forma gráfica la Tabla No. 4.10. Adicionalmente, se indica a continuación figuras de los tramos Km 19+000 a Km 20+000, Km 33+000 a Km 34+000 y Km 83+000 a Km 84+000 donde se tienen rugosidades mayores a 2.50 m/km.

Figura No. 4.15 Condición del pavimento Km 19+000 – Km 20+000

Figura No. 4.16 Condición del pavimento Km 33+000 – Km 34+000

Figura No. 4.17 Condición del pavimento Km 33+000 – Km 34+000

Figura No. 4.18 Condición del pavimento Km 83+000 – Km 84+000

Figura No. 4.19 Condición del pavimento Ruta E28, Sentido: Mitad del Mundo – La Independencia

Tabla No. 4.11 Condición del pavimento

Sentido: La Independencia – Mitad del Mundo

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
160.63	159.63	0.0460317	-79.4013778	1.87	
159.63	158.63	0.0453481	-79.3925244	1.42	
158.63	157.63	0.0446558	-79.3835111	1.49	
157.63	156.63	0.0439586	-79.3744978	1.54	
156.63	155.63	0.0422839	-79.3659378	2.29	
155.63	154.63	0.0428456	-79.3575644	1.60	
154.63	153.63	0.0428489	-79.3486044	1.51	
153.63	152.63	0.0440183	-79.34048	1.97	
152.63	151.63	0.0487461	-79.3331911	1.64	
151.63	150.63	0.0509156	-79.3248267	1.46	
150.63	149.63	0.0508119	-79.3163467	1.60	
149.63	148.63	0.0471836	-79.3088889	1.81	
148.63	147.63	0.0463836	-79.3001778	1.42	
147.63	146.63	0.0437583	-79.2916622	1.64	
146.63	145.63	0.0458956	-79.2834311	1.83	
145.63	144.63	0.0434761	-79.2758489	1.35	
144.63	143.63	0.0443819	-79.2672444	1.57	
143.63	142.63	0.0482803	-79.25936	1.51	
142.63	141.63	0.0527814	-79.25272	1.87	
141.63	140.63	0.0596581	-79.24752	1.58	
140.63	139.63	0.0673697	-79.2459111	2.33	
139.63	138.63	0.072175	-79.2388267	1.57	
138.63	137.63	0.080205	-79.2375644	1.57	
137.63	136.63	0.0885514	-79.2365244	1.57	
136.63	135.63	0.0952386	-79.2416089	1.59	
135.63	134.63	0.1030617	-79.2421778	1.51	
134.63	133.63	0.1076511	-79.2493511	1.40	
133.63	132.63	0.1124308	-79.2558844	1.47	
132.63	131.63	0.1168461	-79.2627733	1.97	
131.63	130.63	0.1199283	-79.2549156	2.23	
130.63	129.63	0.1227828	-79.24712	2.09	
129.63	128.63	0.1229311	-79.2383556	1.92	
128.63	127.63	0.1259719	-79.2329333	2.20	
127.63	126.63	0.1213217	-79.2272267	1.65	
126.63	125.63	0.1157858	-79.2212889	1.44	
125.63	124.63	0.1142617	-79.2126133	1.51	
124.63	123.63	0.1108133	-79.2049422	1.84	
123.63	122.63	0.1102481	-79.1971022	1.62	
122.63	121.63	0.1119756	-79.1886933	2.28	
121.63	120.63	0.1092231	-79.1808	1.71	

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
120.63	119.63	0.1093547	-79.1723289	1.68	
119.63	118.63	0.1058047	-79.1641156	1.36	
118.63	117.63	0.1048119	-79.1554667	1.62	
117.63	116.63	0.1015892	-79.1479022	1.52	
116.63	115.63	0.1018133	-79.1399022	1.82	
115.63	114.63	0.0979289	-79.1325156	1.65	
114.63	113.63	0.0979297	-79.1242667	2.03	
113.63	112.63	0.0975483	-79.1163556	1.47	
112.63	111.63	0.1023242	-79.1084089	1.88	
111.63	110.63	0.1011914	-79.1001511	1.60	
110.63	109.63	0.0976717	-79.0926489	1.85	
109.63	108.63	0.0955375	-79.0842844	1.55	
108.63	107.63	0.0971944	-79.0757422	1.73	
107.63	106.63	0.0931753	-79.0677333	1.44	
106.63	105.63	0.0883769	-79.0603822	2.05	
105.63	104.63	0.08326	-79.0535378	1.78	
104.63	103.63	0.0820711	-79.0450933	1.58	
103.63	102.63	0.0812947	-79.0373778	1.49	
102.63	101.63	0.0787783	-79.03048	2.08	
101.63	100.63	0.0749306	-79.02272	1.90	
100.63	99.63	0.0765094	-79.0139467	1.57	
99.63	98.63	0.0813239	-79.0067467	1.95	
98.63	97.63	0.0752186	-79.0006133	1.67	
97.63	96.63	0.073535	-78.9927556	1.91	
96.63	95.63	0.0744967	-78.9837689	1.55	
95.63	94.63	0.0720811	-78.9753778	1.79	
94.63	93.63	0.0723167	-78.9670844	1.90	
93.63	92.63	0.0708786	-78.9586667	1.84	
92.63	91.63	0.068485	-78.9507467	1.87	
91.63	90.63	0.06261	-78.9458756	1.67	
90.63	89.63	0.0564658	-78.9396267	1.58	
89.63	88.63	0.0510461	-78.9328089	1.83	
88.63	87.63	0.0452	-78.9265422	1.52	
87.63	86.63	0.0398375	-78.9194578	1.44	
86.63	85.63	0.0367311	-78.9117422	1.86	
85.63	84.63	0.0317247	-78.9050133	1.64	
84.63	83.63	0.0260111	-78.8983644	2.62	
83.63	82.63	0.0228669	-78.8910933	3.64	
82.63	81.63	0.0234628	-78.8826578	1.83	
81.63	80.63	0.0238644	-78.8739644	1.61	
80.63	79.63	0.025145	-78.8660267	1.75	
79.63	78.63	0.0249681	-78.8588889	1.51	
78.63	77.63	0.0213075	-78.8506933	1.81	
77.63	76.63	0.01796	-78.8425956	1.70	

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
76.63	75.63	0.0145981	-78.8345422	1.47	
75.63	74.63	0.0083892	-78.8283378	1.55	
74.63	73.63	0.0033417	-78.8209422	1.33	
73.63	72.63	-0.0013914	-78.8133689	1.12	
72.63	71.63	-0.0066278	-78.806	1.30	
71.63	70.63	-0.0125075	-78.79928	1.33	
70.63	69.63	-0.0172767	-78.79208	1.40	
69.63	68.63	-0.0188203	-78.7834578	2.41	
68.63	67.63	-0.0221764	-78.7751822	1.80	
67.63	66.63	-0.0253669	-78.7680622	1.68	
66.63	65.63	-0.0270114	-78.7599111	1.79	
65.63	64.63	-0.0291722	-78.7514044	1.56	
64.63	63.63	-0.0214083	-78.7513778	1.64	
63.63	62.63	-0.0180169	-78.7473867	1.58	
62.63	61.63	-0.0105197	-78.7446578	1.85	
61.63	60.63	-0.00165	-78.7455644	1.66	
60.63	59.63	0.0063853	-78.7413511	1.05	
59.63	58.63	0.0086956	-78.7338844	1.02	
58.63	57.63	0.0099281	-78.7314844	1.12	
57.63	56.63	0.0168347	-78.7322222	1.04	
56.63	55.63	0.0206678	-78.7273778	1.43	
55.63	54.63	0.0268369	-78.7230756	1.14	
54.63	53.63	0.0319303	-78.7209689	1.16	
53.63	52.63	0.0388053	-78.7173067	1.35	
52.63	51.63	0.0430997	-78.7104622	1.07	
51.63	50.63	0.0452472	-78.7016622	1.05	
50.63	49.63	0.0478747	-78.69448	1.26	
49.63	48.63	0.0550058	-78.6984711	1.43	
48.63	47.63	0.0616919	-78.6930311	1.40	
47.63	46.63	0.0705742	-78.6925422	1.07	
46.63	45.63	0.0752583	-78.6916267	1.36	
45.63	44.63	0.0676194	-78.6874311	1.04	
44.63	43.63	0.0624614	-78.6816533	1.63	
43.63	42.63	0.0552258	-78.6832089	1.23	
42.63	41.63	0.0479906	-78.6804533	1.07	
41.63	40.63	0.0395478	-78.6781244	1.19	
40.63	39.63	0.0321989	-78.6812889	1.36	
39.63	38.63	0.0343361	-78.6763911	0.99	
38.63	37.63	0.0369506	-78.6724178	0.96	
37.63	36.63	0.0331222	-78.6650222	1.02	
36.63	35.63	0.0318072	-78.6583111	1.50	
35.63	34.63	0.0284117	-78.6547822	1.12	
34.63	33.63	0.0242319	-78.6518133	2.46	
33.63	32.63	0.0250411	-78.6462222	1.66	

Abs. Inicial	Abs. Final	Latitud	Longitud	IRI	Clasificación
32.63	31.63	0.0251822	-78.6409156	1.39	
31.63	30.63	0.0283197	-78.6333244	1.29	
30.63	29.63	0.0248439	-78.6295289	1.35	
29.63	28.63	0.0306664	-78.6289511	1.39	
28.63	27.63	0.0292019	-78.6228267	1.47	
27.63	26.63	0.02494	-78.6184089	1.20	
26.63	25.63	0.0221294	-78.6120711	1.24	
25.63	24.63	0.0196778	-78.6105778	1.39	
24.63	23.63	0.0208208	-78.6041511	1.39	
23.63	22.63	0.0160019	-78.5991467	1.21	
22.63	21.63	0.0104567	-78.5931289	0.97	
21.63	20.63	0.0037833	-78.5897422	1.24	
20.63	19.63	0.0096961	-78.5878222	2.02	
19.63	18.63	0.0062133	-78.5814311	2.23	
18.63	17.63	0.0066503	-78.5734756	2.36	
17.63	16.63	0.0097936	-78.5697956	1.82	
16.63	15.63	0.0109078	-78.5621067	2.21	
15.63	14.63	0.0097858	-78.5555378	2.11	
14.63	13.63	0.0064861	-78.5474933	1.90	
13.63	12.63	0.00325	-78.5399111	1.84	
12.63	11.63	-0.0014725	-78.5325689	2.05	
11.63	10.63	-0.0031228	-78.5241778	1.89	
10.63	9.63	-0.0040539	-78.5173778	2.37	
9.63	8.63	-0.0025328	-78.5136533	2.39	
8.63	7.63	0.0002117	-78.5053156	2.04	
7.63	6.63	0.0030856	-78.4967822	1.58	
6.63	5.63	0.0047103	-78.4880533	2.01	
5.63	4.63	0.0121331	-78.4840444	2.25	
4.63	3.63	0.0174814	-78.4768711	2.21	
3.63	2.63	0.0138089	-78.4702578	2.31	
2.63	1.63	0.0063011	-78.4652889	1.89	
1.63	0.63	0.0009158	-78.4581511	2.06	
0.63	0.00	-0.0037203	-78.4530311	2.86	

En la Figura No. 4.20, se muestra de forma gráfica la Tabla No. 4.11, donde se aprecia el cambio de rugosidad en los tramos Km 82+630 a Km 84+630 que corresponde a la zona poblada de San Miguel de los Bancos. Ver Figura 4.18.

Figura No. 4.20 Condición del pavimento Ruta E28, Sentido: La Independencia – Mitad del Mundo

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 Introducción

Para realizar un análisis general de los datos tomados en campo, se procederá a utilizar la información desarrollada en los capítulos anteriores, además de las tablas que se encuentran en los Anexos, para al final poder generar conclusiones y recomendaciones que serán un verdadero aporte a la comunidad.

5.2 Metodología

Se ha empleado el método deductivo, aprovechando las enseñanzas, discernimientos y juicios impartidos en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Fuerzas Armadas –ESPE-, así como también los conocimientos adquiridos en el área de Mantenimiento Vial.

5.3 Cálculos

5.3.1 Relaciones de IRI de acuerdo a la longitud del segmento analizado

Lo que se pretende en esta sección, es dar a conocer la influencia que tiene la longitud del segmento analizado en el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional.

$$IRI = \frac{1}{L}\int_0^L \left| z'_2 - z'_1 \right| .dx$$

Figura No. 5.1 Expresión algebraica para obtener el IRI

Donde:

L = Longitud de análisis

$|z'_2 – z'_1|$ = Valor absoluto de la pendiente rectificada

A la variable $|z'_2 – z'_1|$ se le denomina “pendiente rectificada de perfil filtrado”, porque en definitiva es la pendiente de un perfil (distinto, pero derivado del perfil de la carretera), filtrado por las características del modelo de cuarto de carro “Golden Quarter Car”.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, el Índice de Rugosidad Internacional “IRI”, es la media aritmética de la sumatoria de todos los valores de la variable $|z'_2 – z'_1|$ en la longitud de evaluación.

A continuación, se presentan los coeficientes de variabilidad obtenidos en cada sentido de la Ruta E28, los mismos que podrán ser verificados en el Anexo No. 7 y en las respectivas Figuras del literal 4.3.

Tabla No. 5.1 Coeficiente de Variabilidad

Sentido: Mitad del Mundo – La Independencia

IRI cada	100 metros	200 metros	500 metros	1000 metros
Desviación Estándar	0.67	0.58	0.47	0.38
Promedio	1.65	1.65	1.66	1.65
Coeficiente de Variabilidad	0.40	0.35	0.28	0.23

Tabla No. 5.2 Coeficiente de Variabilidad

Sentido: La Independencia – Mitad del Mundo

IRI cada	100 metros	200 metros	500 metros	1000 metros
Desviación Estándar	0.66	0.56	0.46	0.40
Promedio	1.66	1.66	1.66	1.66
Coeficiente de Variabilidad	0.40	0.34	0.28	0.24

Como se puede ver en las Tablas 5.1 y 5.2, el coeficiente de variabilidad que se obtiene ya sea en el sentido Mitad del Mundo – La Independencia o La Independencia – Mitad del Mundo es el mismo para la misma longitud analizada. De la misma forma, se observa que este coeficiente decrece conforme aumentamos la longitud de análisis la cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla No. 5.3 Variabilidad de acuerdo a longitud de análisis

	de 100 a 200	de 100 a 500	de 100 a 1000
Porcentaje de Variabilidad	16.97%	42.78%	65.47%

De la Tabla 5.3 se obtienen los siguientes comentarios:

- Cuando se aumenta 100 metros a la longitud inicial, lo que significa que ahora se analiza intervalos cada 200 metros, se tiene una disminución del 16.97% de la caracterización del perfil longitudinal de la carretera que al final se transforma en IRI. Esto se puede observar en las Figuras Nos. 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10, donde para las dos primeras

Figuras se tiene una escala máxima de IRI de 12 m/km que son los análisis cada 100 metros en ambos sentidos de la Ruta E28, pero para las siguientes dos Figuras 4.9 y 4.10, esta escala decrece a valores de 10 m/km y 8 m/km respectivamente, cuando se realiza el análisis cada 200 metros.

- Ahora, cuando la longitud aumenta en 400 metros y 900 metros, el porcentaje de caracterización del perfil longitudinal decrece en un 42.78% y 65.47% respectivamente, lo que al final se traduce en una reducción de 7 puntos en la escala de IRI para intervalos de análisis de 500 metros y de 8 puntos en la escala de IRI para intervalos de análisis de 1000 metros. (Ver Figuras Nos. 4.7, 4.8, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14).

Hay que tener presente, que los factores de variabilidad hallados en la Tabla No. 5.3, se aplican exclusivamente para este estudio ya que todo dependerá de cómo se realice la toma de datos en campo y de la Clase del perfilómetro utilizado.

5.4 Resultados

5.4.1 Determinar la condición de la Ruta E28, de acuerdo al Documento Técnico de Concesiones MOP

El Documento Técnico del MOP, (Ver Figura No. 1.7), indica que para un TPDA “Tráfico Promedio Diario Anual” mayor a 5000, se debe tener un Índice de Rugosidad Internacional de entre 2.0 m/km a 3.0 m/km.

De los resultados obtenidos en las Tablas Nos. 5.1 y 5.2 donde se muestra el promedio de acuerdo al sentido de la carretera y el intervalo al cual se analizó, se determina que la Ruta E28 “Mitad del Mundo–La Independencia” tiene un valor de IRI promedio de:

- 1.65 m/km para el Sentido: Mitad del Mundo – La Independencia y,
- 1.66 m/km para el Sentido: La Independencia – Mitad del Mundo.

Si ahora, realizamos una comparación con las Recomendaciones del Transportation Research Board “TRB” (Ver Figura 1.6), donde de igual manera que en el Documento Técnico del MOP clasifica las vías de acuerdo al TPDA, podemos decir que la Ruta E28, bajo las condiciones estudiadas y de acuerdo a los rangos de IRI obtenidos, cumple con las dos clasificaciones de acuerdo al TPDA que transita en la carretera.

Adicionalmente para terminar la clasificación, se debe comparar con la Escala estándar empleada por el Banco Mundial (Ver Figura No. 1.5), la cual indica que la Ruta E28, corresponde a una Autopista o a un Pavimento Nuevo.

5.4.2 Rehabilitación de la Ruta E28

Para determinar el plan de rehabilitación que mejor se acople a las condiciones actuales de la Ruta E28, se procede a realizar secciones homogéneas de acuerdo al Apéndice J de las AASHTO[13] el cual determina lo siguiente:

J –1 Los Fundamentos de la Aproximación

Un método analítico para delinear estadísticamente unidades homogéneas de medidas de un pavimento a lo largo de un sistema de carretera es la aproximación de diferencias acumuladas. Mientras la metodología presentada es fundamentalmente fácil de visualizar, la implementación del manual para grandes bases de datos se convierte en un consumo de tiempo y puede resultar muy laborioso. Sin embargo, la aproximación es presentada debido a que es fácilmente adaptable a una solución computarizada y a un análisis gráfico. Esta aproximación puede ser utilizada para una gran diversidad de variables de respuesta medidas en un

[13] Manual de la AASHTO, APPENDIX J “ANALYSIS UNIT DELINEATION BY CUMULATIVE DIFFERENCES”

pavimento, tal como la deflexión, serviciabilidad, resistencia al deslizamiento, índices, etc.

Ahora, se presentan las secciones homogéneas calculadas en base al Anexo No. 7 donde se tiene la información de IRI a intervalos de 100, 200, 500 y 1000 metros para cada sentido de la Ruta E28. Las tablas de cálculo, se presentan en el Anexo No. 8.

Para realizar este análisis, donde se determinan secciones homogéneas, se procede a sacar los tramos Km 33+000 a Km 34+000 y Km 83+000 a Km84+000 (Ver Figuras Nos. 4.16, 4.17 y 4.18) debido a que su análisis no es representativo.

- **Sentido: Mitad del Mundo –La Independencia**

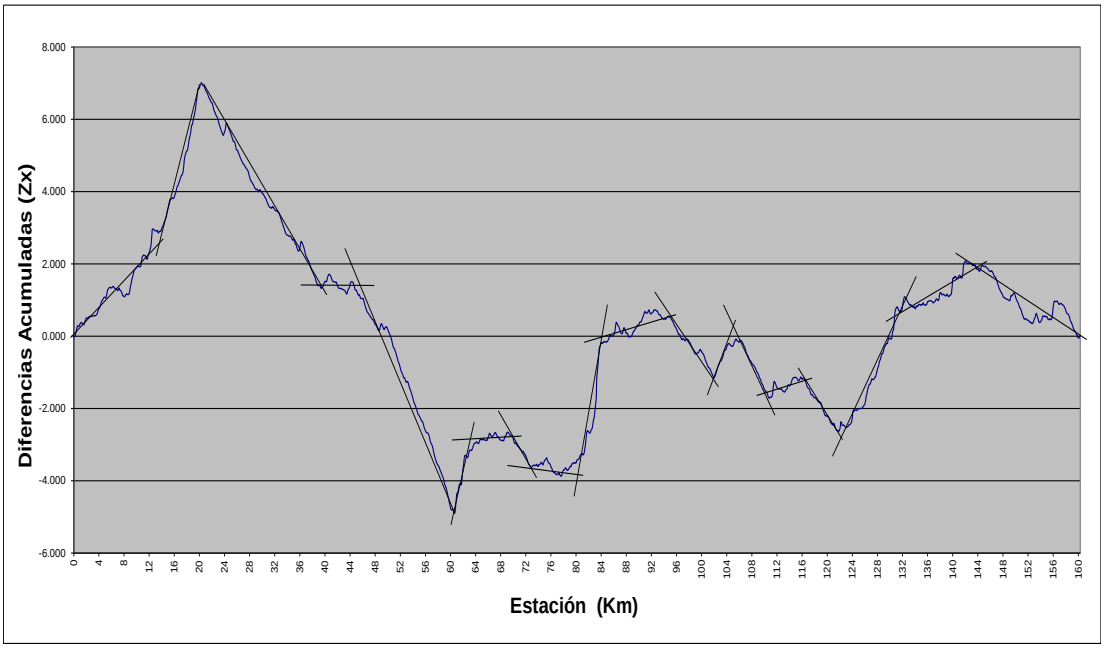

Figura No. 5.2 Diferencias acumuladas de IRI cada 100 metros

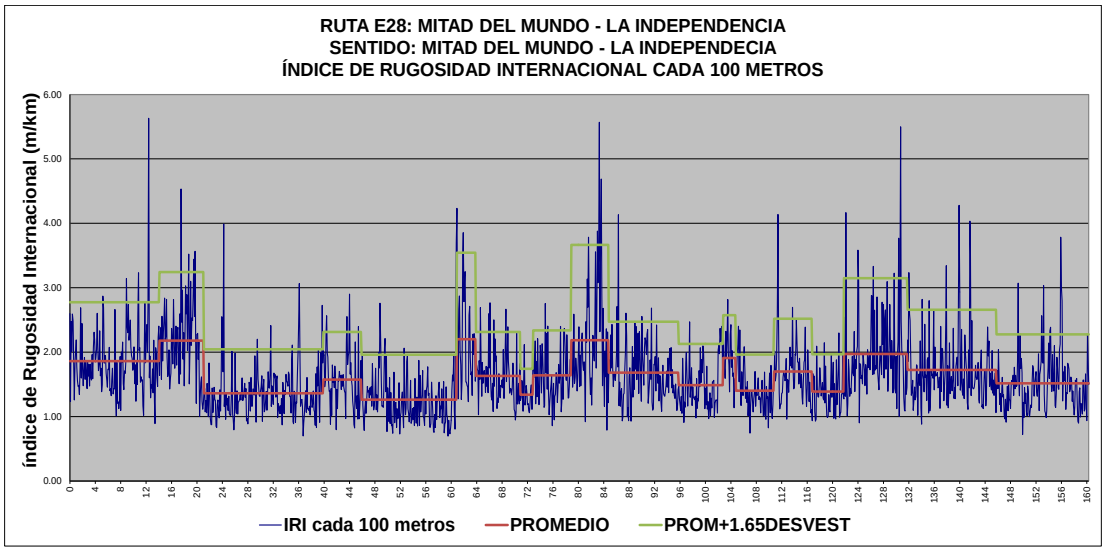

Figura No. 5.3 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros

Tabla No. 5.4 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
0+000	14+000	1.86	0.55	2.77
14+000	21+000	2.18	0.64	3.24
21+000	40+000	1.36	0.41	2.04
40+000	46+000	1.57	0.45	2.31
46+000	61+000	1.26	0.42	1.96
61+000	64+000	2.20	0.81	3.54
64+000	71+000	1.63	0.41	2.31
71+000	73+000	1.34	0.24	1.74
73+000	79+000	1.64	0.42	2.34
79+000	85+000	2.18	0.90	3.67
85+000	96+000	1.68	0.48	2.47
96+000	103+000	1.49	0.39	2.13
103+000	105+000	1.91	0.40	2.57
105+000	111+000	1.40	0.34	1.96
111+000	117+000	1.70	0.50	2.52
117+000	122+000	1.39	0.35	1.97
122+000	132+000	1.97	0.71	3.15
132+000	146+000	1.72	0.57	2.66
146+000	160+600	1.52	0.46	2.28

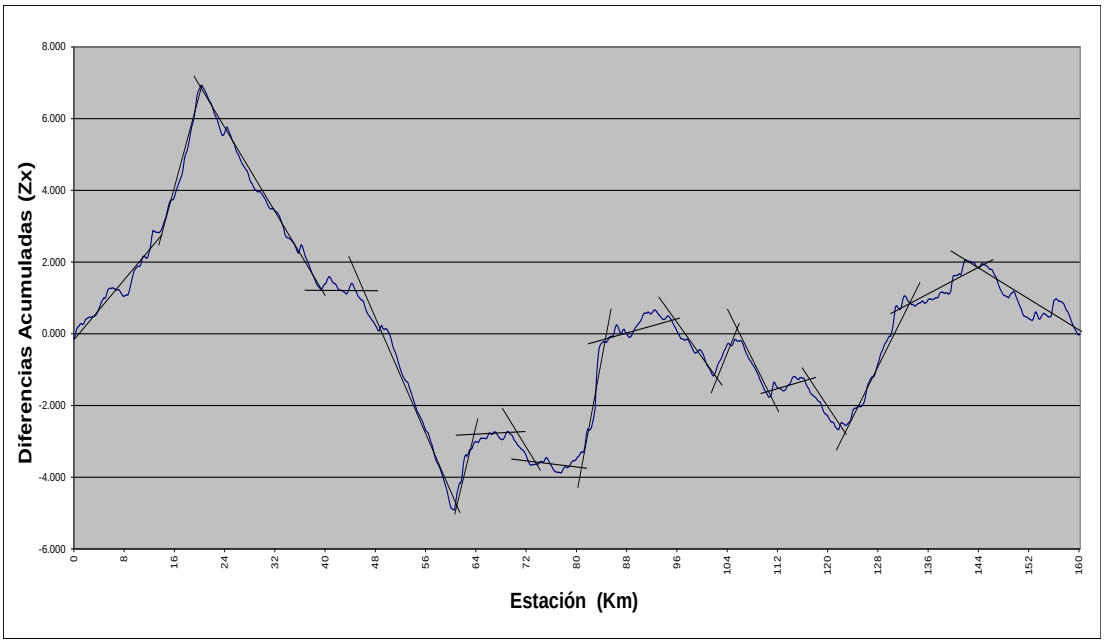

Figura No. 5.4 Diferencias acumuladas IRI cada 200 metros

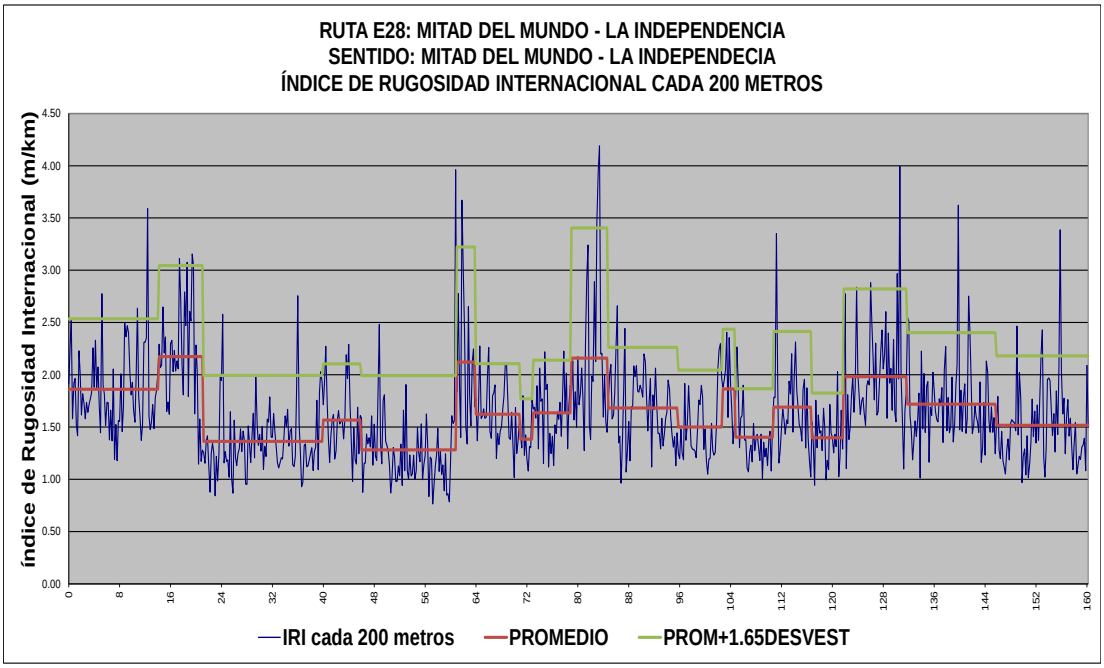

Figura No. 5.5 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros

Tabla No. 5.5 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
0+000	14+000	1.86	0.41	2.53
14+000	21+000	2.17	0.53	3.05
21+000	40+000	1.36	0.38	1.99
40+000	46+000	1.57	0.33	2.10
46+000	61+000	1.28	0.43	1.99
61+000	64+000	2.12	0.67	3.22
64+000	71+000	1.62	0.29	2.11
71+000	73+000	1.38	0.23	1.77
73+000	79+000	1.64	0.30	2.14
79+000	85+000	2.16	0.75	3.40
85+000	96+000	1.68	0.35	2.26
96+000	103+000	1.50	0.33	2.05
103+000	105+000	1.86	0.35	2.44
105+000	111+000	1.40	0.28	1.87
111+000	117+000	1.69	0.44	2.41
117+000	122+000	1.40	0.26	1.82
122+000	132+000	1.98	0.51	2.82
132+000	146+000	1.72	0.41	2.40
146+000	160+600	1.52	0.40	2.18

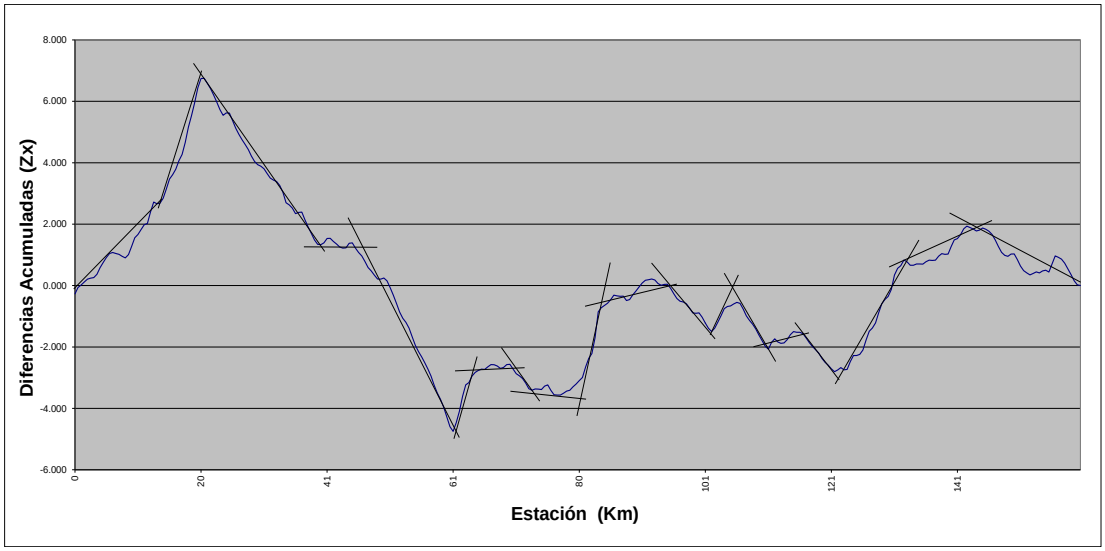

Figura No. 5.6 Diferencias acumuladas IRI cada 500 metros

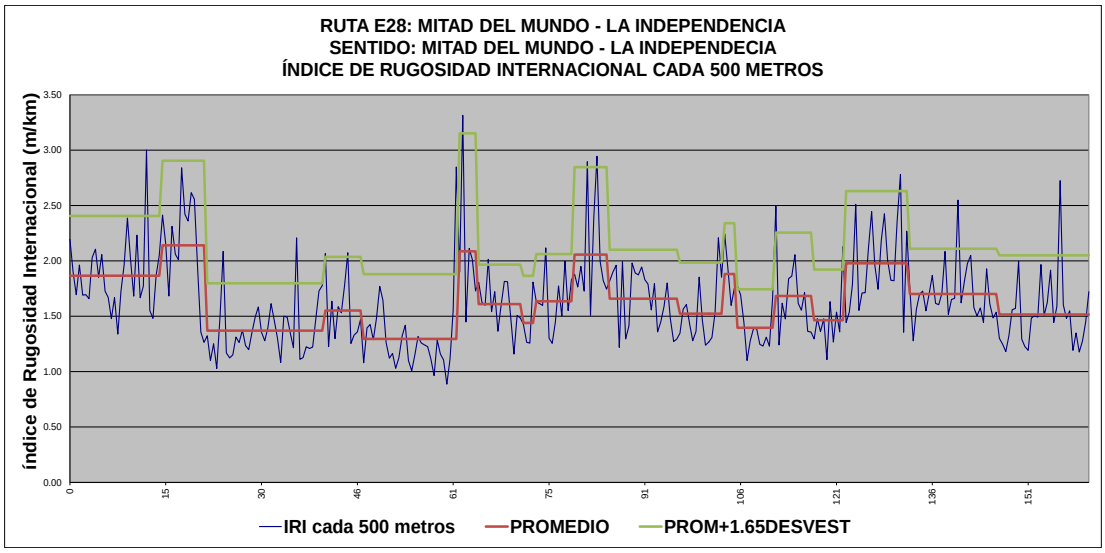

Figura No. 5.7 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros

Tabla No. 5.6 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
0+000	14+000	1.87	0.33	2.41
14+000	21+000	2.14	0.46	2.90
21+000	40+000	1.37	0.26	1.80
40+000	46+000	1.55	0.29	2.04
46+000	61+000	1.30	0.35	1.88
61+000	64+000	2.09	0.65	3.15
64+000	71+000	1.61	0.22	1.97
71+000	73+000	1.44	0.26	1.87
73+000	79+000	1.64	0.26	2.06
79+000	85+000	2.06	0.48	2.85
85+000	96+000	1.66	0.27	2.10
96+000	103+000	1.52	0.28	1.98
103+000	105+000	1.88	0.28	2.34
105+000	111+000	1.40	0.21	1.74
111+000	117+000	1.68	0.35	2.26
117+000	122+000	1.46	0.28	1.92
122+000	132+000	1.98	0.40	2.63
132+000	146+000	1.70	0.25	2.11
146+000	160+500	1.52	0.32	2.05

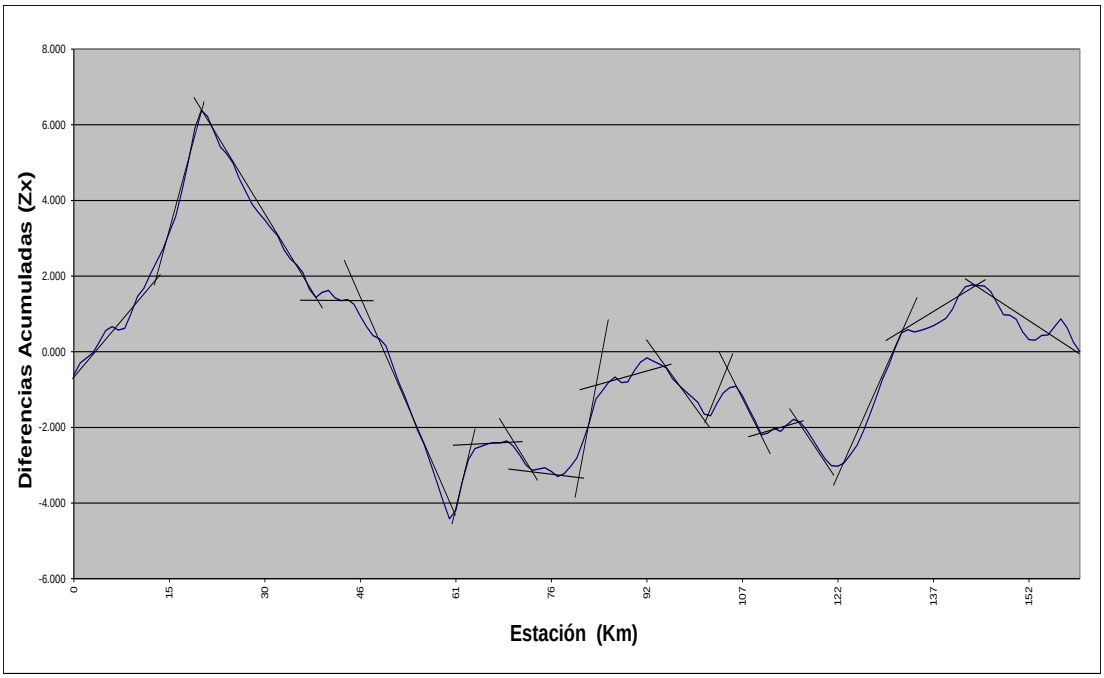

Figura No. 5.8 Diferencias acumuladas IRI cada 1000 metros

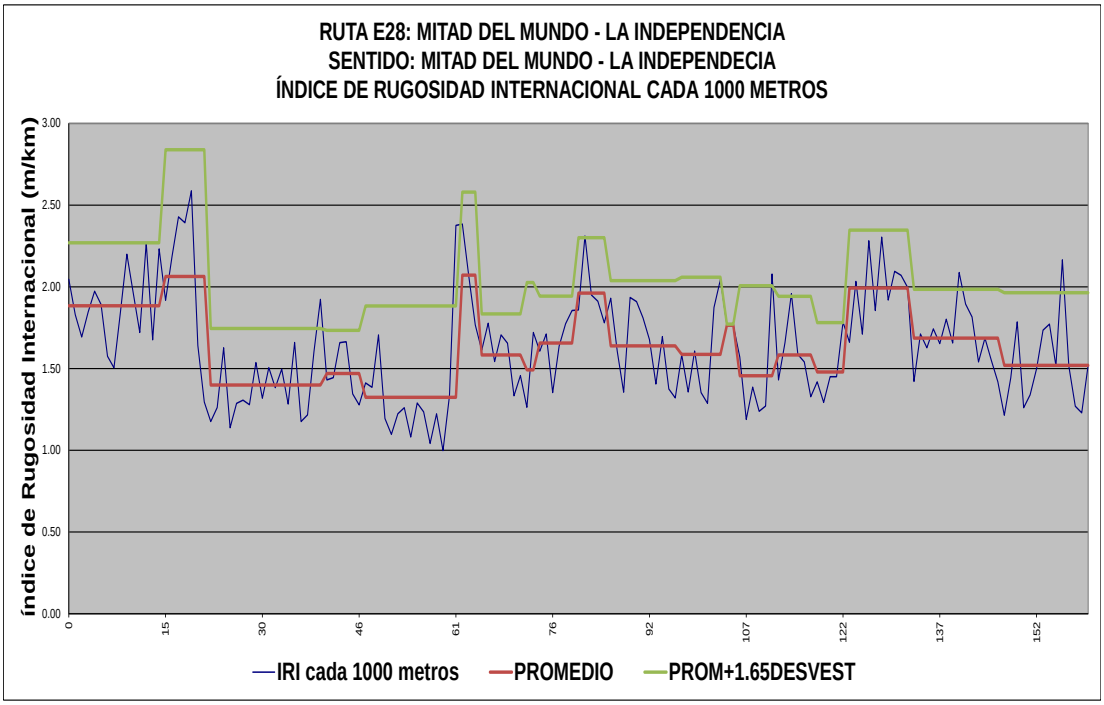

Figura No. 5.9 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros

Tabla No. 5.7 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
0+000	14+000	1.88	0.23	2.27
14+000	21+000	2.06	0.47	2.84
21+000	40+000	1.40	0.21	1.75
40+000	46+000	1.47	0.16	1.73
46+000	61+000	1.32	0.34	1.88
61+000	64+000	2.07	0.31	2.58
64+000	71+000	1.58	0.15	1.83
71+000	73+000	1.49	0.32	2.03
73+000	79+000	1.66	0.17	1.94
79+000	85+000	1.96	0.21	2.30
85+000	96+000	1.64	0.24	2.04
96+000	103+000	1.59	0.29	2.06
103+000	105+000	1.76	0.00	1.77
105+000	111+000	1.46	0.33	2.01
111+000	117+000	1.58	0.22	1.94
117+000	122+000	1.48	0.18	1.78
122+000	132+000	1.99	0.21	2.35
132+000	146+000	1.69	0.18	1.98
146+000	160+000	1.52	0.27	1.96

- **Sentido: La Independencia– Mitad del Mundo**

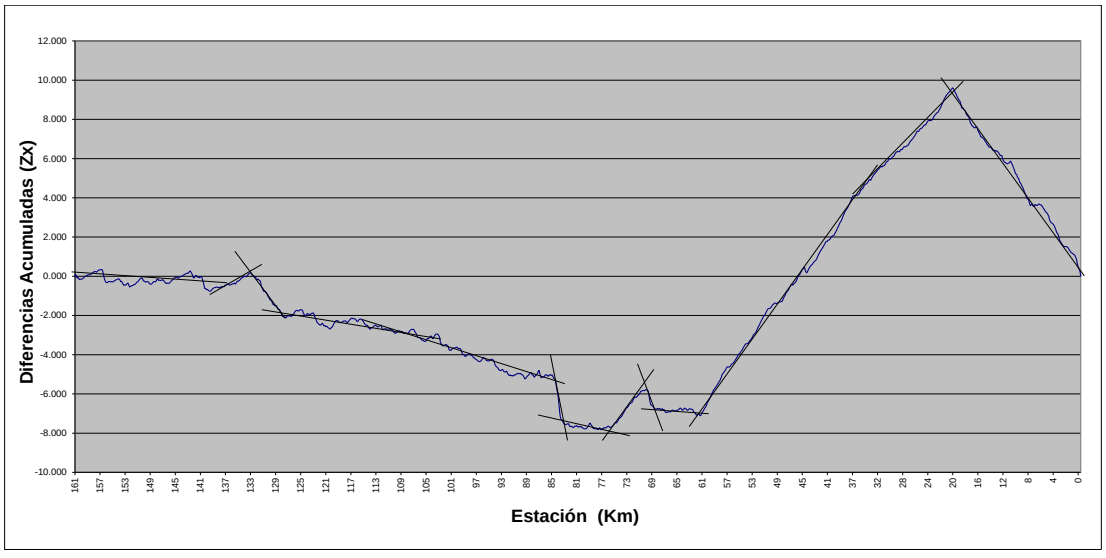

Figura No. 5.10 Diferencias acumuladas IRI cada 100 metros

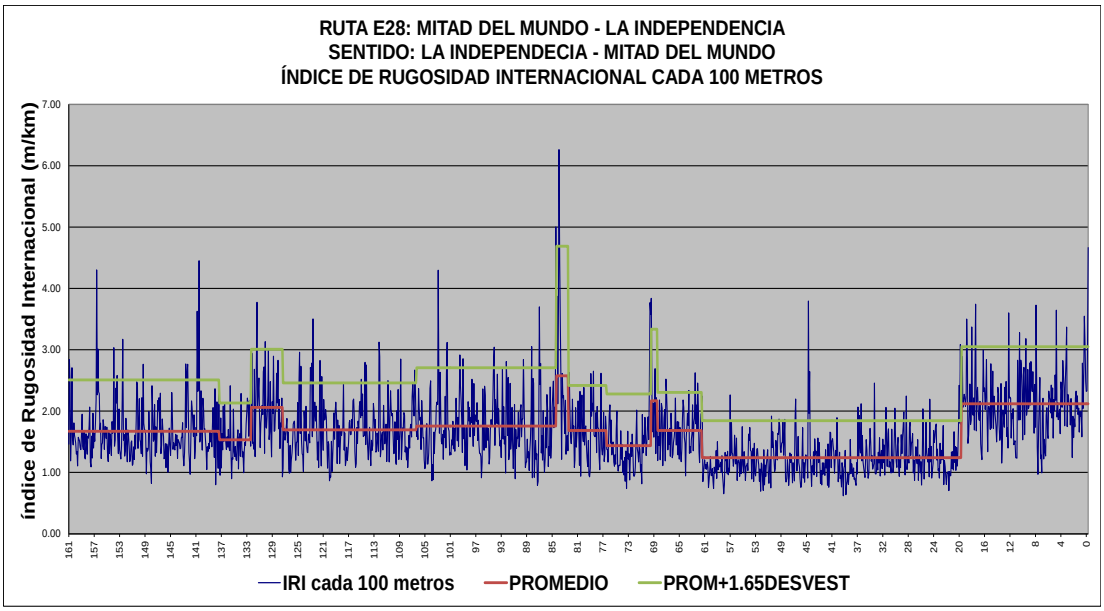

Figura 5.11 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros

Tabla No. 5.8 Secciones homogéneas de IRI cada 100 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
160+630	137+026	1.67	0.51	2.51
137+026	132+026	1.53	0.36	2.13
132+026	127+026	2.06	0.58	3.01
127+026	106+026	1.69	0.46	2.46
106+026	84+026	1.76	0.58	2.71
84+026	82+026	2.58	1.28	4.69
82+026	76+026	1.68	0.45	2.42
76+026	69+026	1.44	0.51	2.28
69+026	68+026	2.17	0.71	3.34
68+026	61+026	1.68	0.38	2.31
61+026	20+026	1.24	0.36	1.84
20+026	0+026	2.12	0.56	3.05

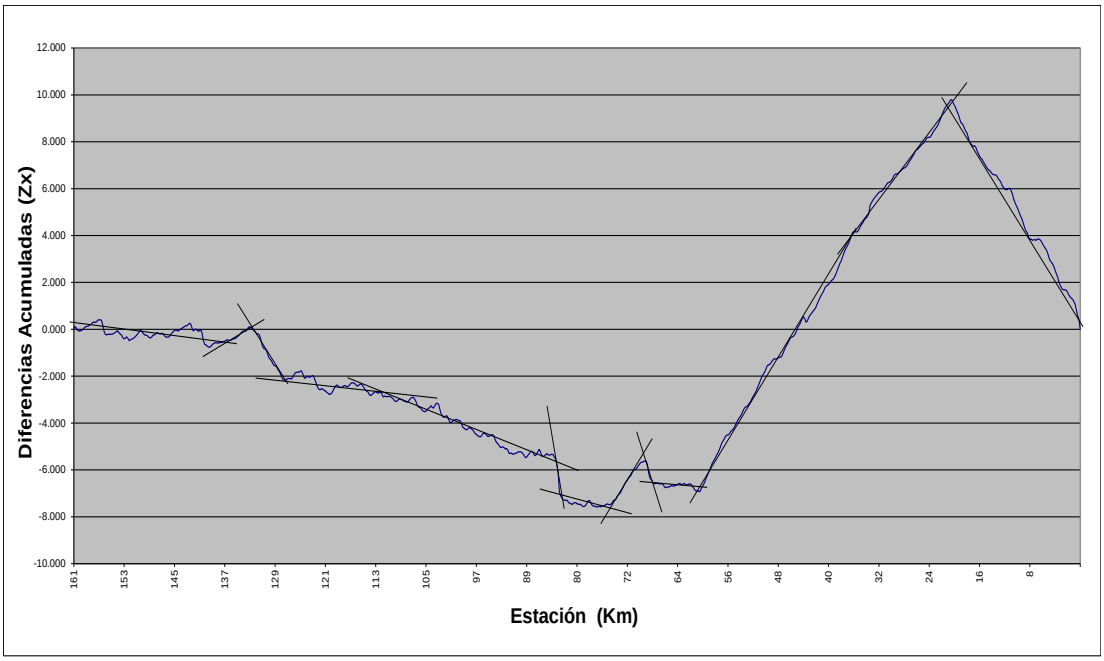

Figura No. 5.12 Diferencias acumuladas IRI cada 200 metros

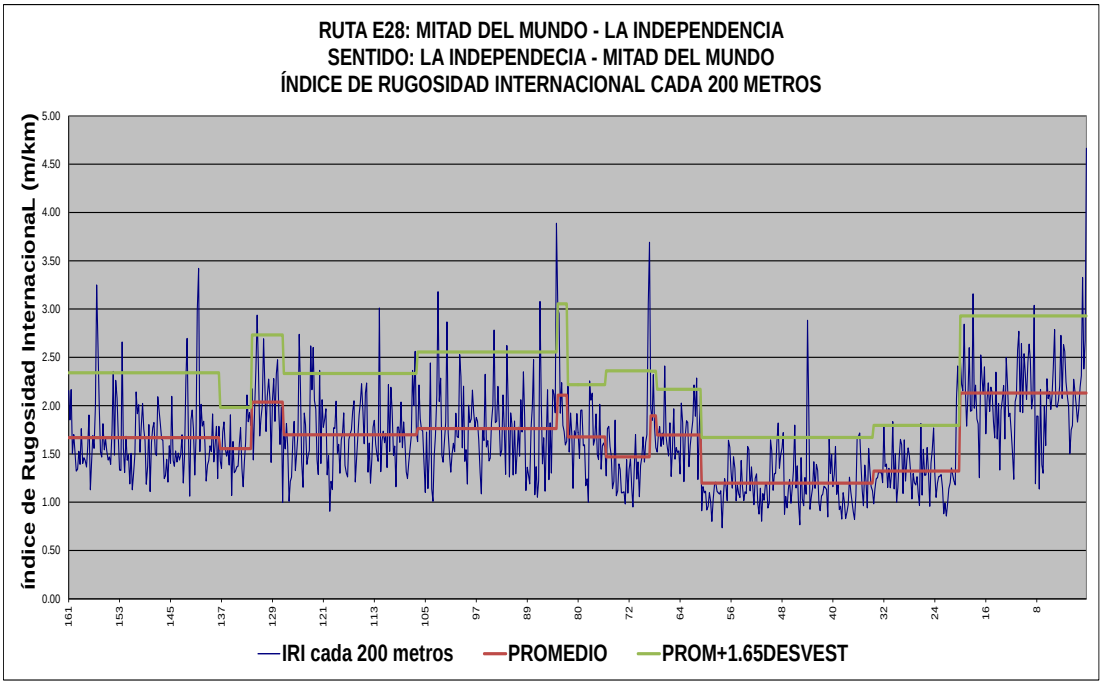

Figura No. 5.13 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros

Tabla No. 5.9 Secciones homogéneas de IRI cada 200 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
160+630	137+026	1.67	0.41	2.34
137+026	132+026	1.55	0.26	1.98
132+026	127+026	2.04	0.42	2.73
127+026	106+026	1.70	0.38	2.33
106+026	84+026	1.76	0.48	2.56
84+026	82+026	2.11	0.57	3.05
82+026	76+026	1.68	0.33	2.22
76+026	69+026	1.47	0.54	2.36
69+026	68+026	1.90	0.28	2.36
68+026	61+026	1.70	0.29	2.17
61+026	34+026	1.20	0.29	1.67
34+026	20+026	1.32	0.29	1.80
20+026	0+026	2.13	0.48	2.93

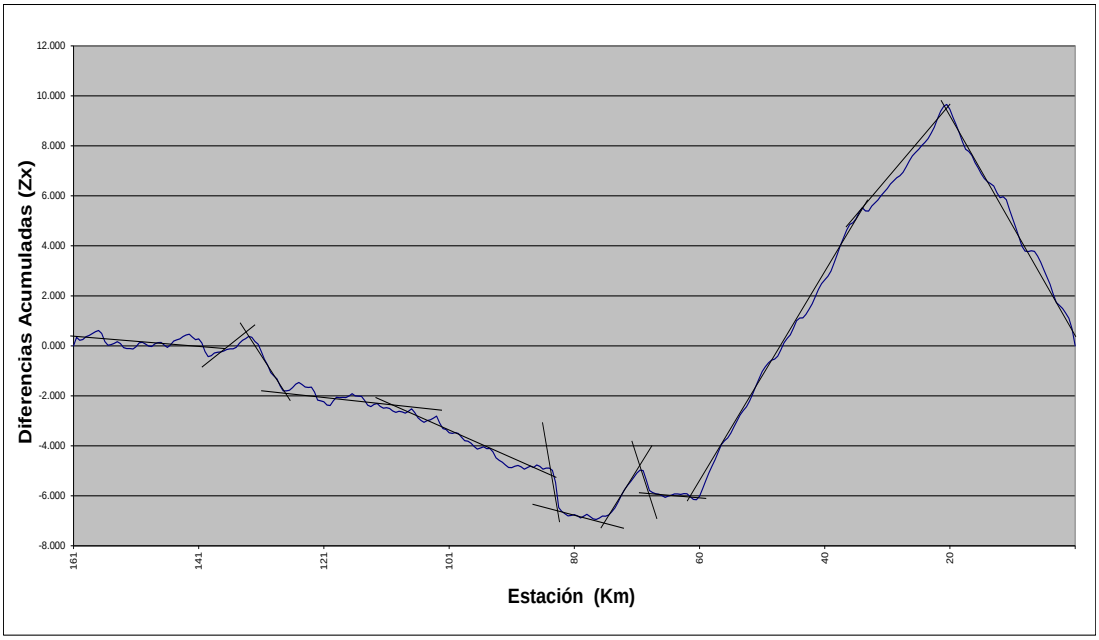

Figura No. 5.14 Diferencias acumuladas IRI cada 500 metros

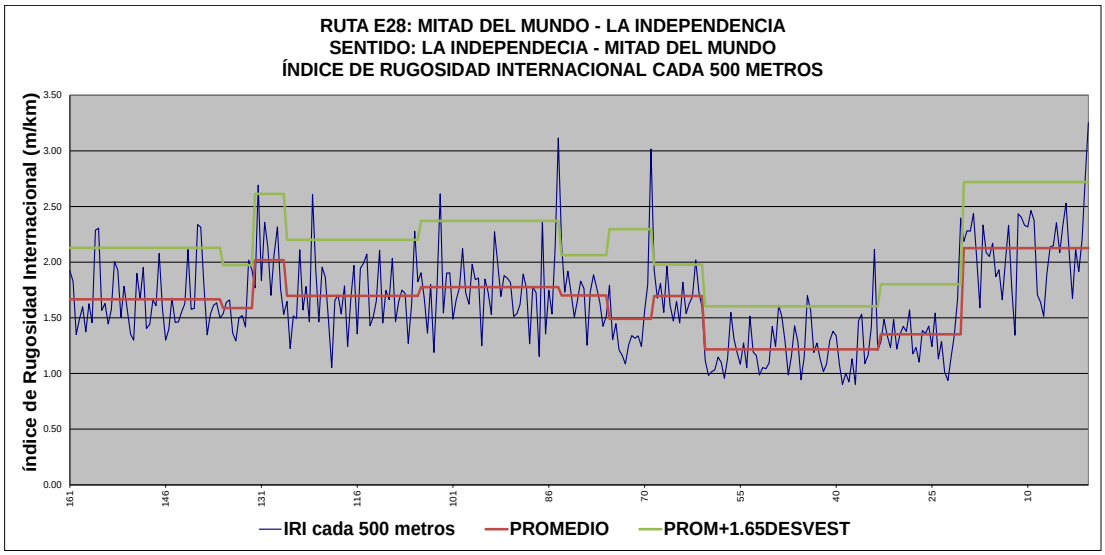

Figura No. 5.15 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros

Tabla No. 5.10 Secciones homogéneas de IRI cada 500 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
160+360	137+126	1.67	0.28	2.13
137+126	132+126	1.59	0.23	1.97
132+126	127+126	2.02	0.36	2.61
127+126	106+126	1.70	0.31	2.20
106+126	84+126	1.78	0.36	2.37
84+126	76+126	1.70	0.22	2.06
76+126	69+126	1.49	0.49	2.30
69+126	61+126	1.70	0.17	1.98
61+126	33+126	1.22	0.23	1.60
33+126	20+126	1.35	0.27	1.80
20+126	0+126	2.13	0.36	2.72

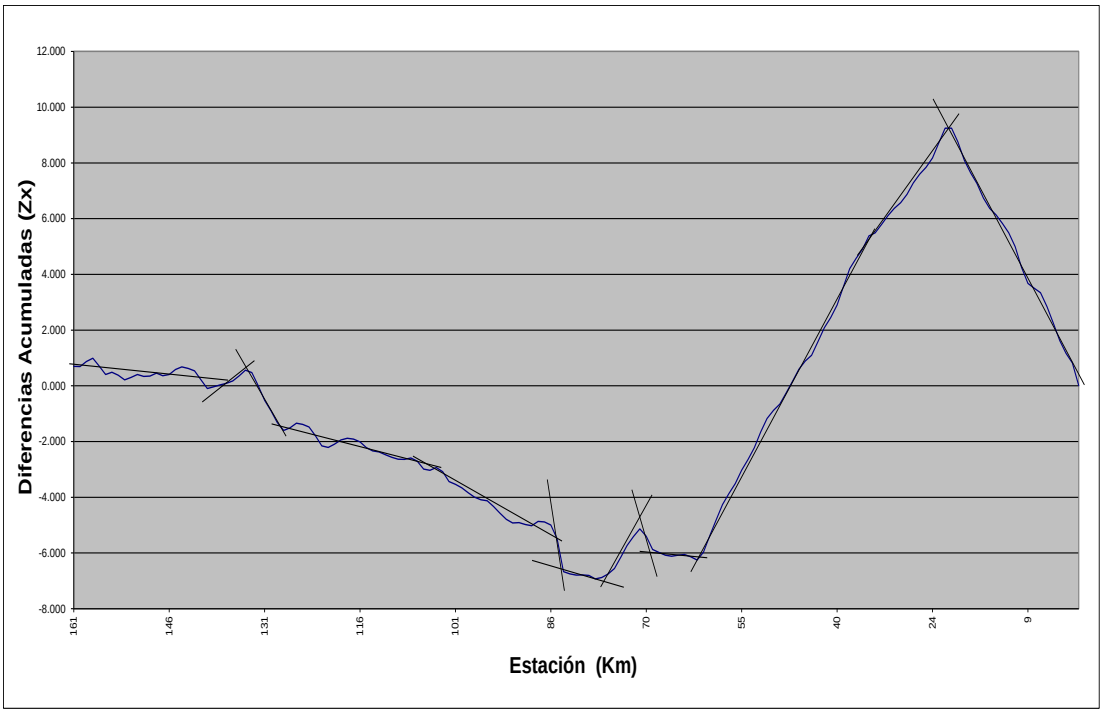

Figura No. 5.16 Diferencias acumuladas IRI cada 1000 metros

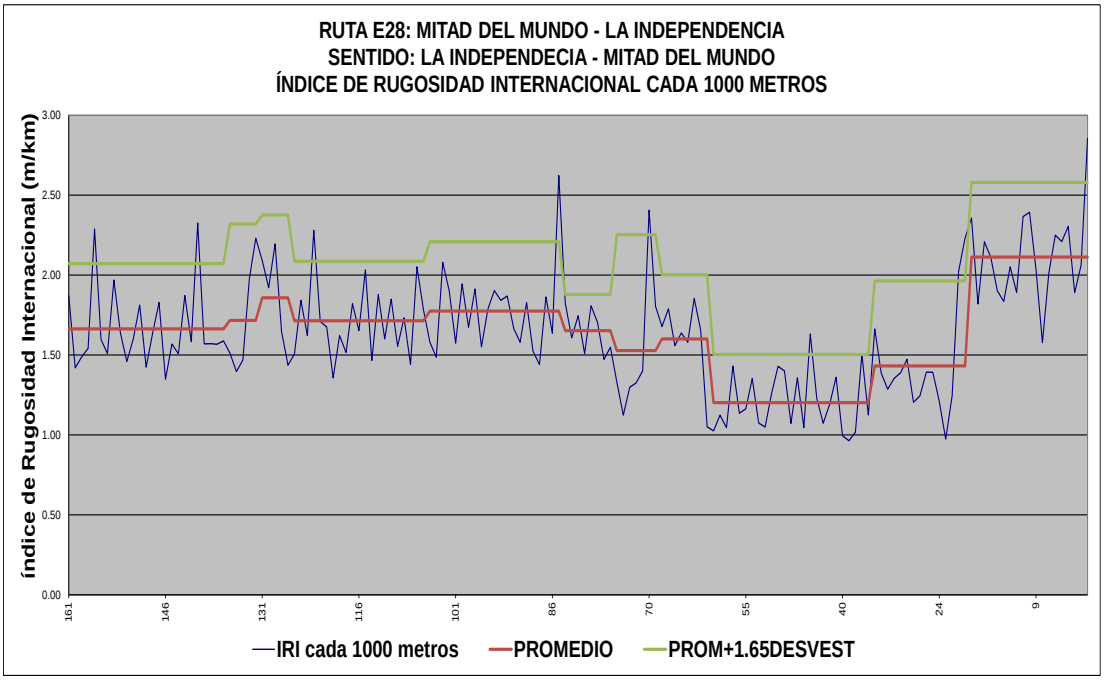

Figura No. 5.17 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros

Tabla No. 5.11 Secciones homogéneas de IRI cada 1000 metros

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
160+360	136+626	1.66	0.25	2.07
136+626	131+626	1.72	0.37	2.32
131+626	126+626	1.86	0.31	2.38
126+626	105+626	1.71	0.23	2.09
105+626	84+626	1.77	0.26	2.21
84+626	75+626	1.65	0.14	1.88
75+626	68+626	1.53	0.44	2.25
68+626	60+626	1.60	0.24	2.00
60+626	35+626	1.20	0.18	1.50
35+626	19+626	1.43	0.32	1.96
19+626	0+626	2.11	0.28	2.58

De las secciones homogéneas mostradas en las figuras anteriores y de la clasificación del Índice de Rugosidad Internacional, se determina que la Ruta E28 se encuentra en muy buena condición de acuerdo a la rugosidad medida y posterior proceso de la información de campo. Sin embargo, existen tramos con cambios severos de rugosidad en los cuales se aplicará un fresado de 5 centímetros para posteriormente colocar una carpeta de igual espesor al removido.

Para determinar los puntos con niveles de rugosidad que sobrepasan el límite de 3.0 m/km, se utilizan las Tablas Nos. 5.4 y 5.8, en las cuales el intervalo de medición de IRI es 100 metros debido a que cuando menor sea el intervalo de medición mayor será el detalle de reporte que se obtenga.

En las Figuras Nos. 5.18 y 5.19 que se muestran a continuación, se observa las condiciones de rugosidad presentadas en la Ruta E28, cuando

se analizan intervalos de longitud de 100 metros. Comparando las figuras cada 100 metros y 1000 metros, podemos ver como decrece la caracterización de los eventos y, ese es el principal motivo por el cual se escoge un intervalo menor para determinar el plan de rehabilitación.

Figura No. 5.18 Condición del pavimento Ruta E28, Sentido: Mitad del Mundo – La Independencia a intervalo de 100 metros

Figura No. 5.19 Condición del pavimento Ruta E28, Sentido: La Independencia – Mitad del Mundo a intervalo de 100 metros

Tabla No. 5.12 Rugosidad crítica, Sentido: Mitad del Mundo–La Independencia

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
14+000	21+000	2.18	0.64	3.24
61+000	64+000	2.20	0.81	3.54
79+000	85+000	2.18	0.90	3.67
122+000	132+000	1.97	0.71	3.15

Tabla No. 5.13 Rugosidad crítica, Sentido: La Independencia–Mitad del Mundo

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Promedio	Desviación Estándar	Promedio + 1.65*Desviación Estándar
132+026	127+026	2.06	0.58	3.01
84+026	82+026	2.58	1.28	4.69
69+026	68+026	2.17	0.71	3.34
20+026	0+026	2.12	0.56	3.05

La longitud sobre la cual se realizará el fresado y reposición de carpeta asfáltica es la siguiente:

Tabla No. 5.14 Longitud de Mantenimiento, Sentido: Mitad del Mundo–La Independencia

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Longitud del Tramo (Km)
14+000	21+000	7+000
61+000	64+000	3+000
79+000	85+000	6+000
122+000	132+000	10+000
	TOTAL	**26+000**

Tabla No. 5.15 Longitud de Mantenimiento

Sentido: La Independencia–Mitad del Mundo

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Longitud del Tramo (Km)
132+026	127+026	5+000
84+026	82+026	2+000
69+026	68+026	1+000
20+026	+26	20+000
	TOTAL	**28+000**

De las tablas Nos. 5.14 y 5.15, se determina que la longitud en la cual se debe realizar rehabilitación es de 54.000 kilómetros, que representa el 20.30% de la longitud total del proyecto.

Para los trabajos de fresado y tendido de carpeta asfáltica, se necesita un análisis de precios unitarios “APU”. Este estudio aplica como fuente los APU, que se utilizan a la fecha en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Unidad de Estudios – Área de Costos.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE
UNIDAD DE COSTOS
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES 2013
MODELO

CODIGO:	406-8 (Incluye desalojo)	PAGINA:	31
RUBRO:	Fresado de pavimento asfáltico	UNIDAD:	m3
OBRA:	**MODELO**	REND.(U/H):	20
UBICACIÓN:	MODELO FECHA: ene-13	K (H/U):	0.050

A:- EQUIPOS	**POTENCIA**	**Nº**	**COSTO HORARIO**	**COSTO**
FRESADORA	0	1	91.43	4.571
VOLQUETA DE 12 M3	350	3	28.14	4.221
ESCOBA AUTOPROPULSADA	76	1	19.43	0.971
SUBTOTAL EQUIPOS	.....			**9.764**

B:- MANO DE OBRA	**OTROS**	**SALARIO BASICO**	**F.S.R.**	**Nº**	**SALARIO**	**COSTO**
Fresadora de pavimento asfáltico	0.25	1.000	3.020	1	3.270	0.164
Licencia TIPO E	0.25	1.500	4.160	3	6.490	0.974
Ayudante maquinaria	0.25	1.000	2.860	2	3.110	0.311
Barredora autoprpulsada	0.25	1.000	2.940	1	3.190	0.160
SUBTOTAL MANO DE OBRA			.....			**1.608**

C:- HERRAMIENTAS	
HERRAMIENTAS MANUALES	**0.000**

D:- MATERIALES	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**COSTO**
PUNTAS DE TUNGSTENO	UNIDAD	0.0420	7.450	0.313
BASES DE PUNTAS (PORTAPUNTAS)	UNIDAD	0.0120	17.550	0.211
SUBTOTAL DE MATERIALES	.....			**0.524**

E:- TRANSPORTE	**UNIDAD**	**DISTANCIA**	**COSTO/KM**	**CANTIDAD**	**COSTO**
SUBTOTAL DE TRANSPORTE		.....			**0.000**

COSTO DIRECTO			**11.895**
COSTO INDIRECTO	G. Generales	0.08	0.952
	Utilidades	0.08	0.952
	Imprevistos	0.03	0.357
	Impuestos	0.028679	0.406
PRECIO UNITARIO			**14.561**

Figura No. 5.20 APU Fresado de pavimento asfáltico (Incluye desalojo)

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE
UNIDAD DE COSTOS
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES 2013

MODELO

CODIGO:	405-5 b			PAGINA:	18
RUBRO:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta (	**0,05 m**		UNIDAD:	m2
OBRA:	MODELO			REND.(U/H):	310
UBICACIÓN:	MODELO	FECHA:	ene-13	K (H/U):	0.003

A:- EQUIPOS	**POTENCIA**	**Nº**	**COSTO HORARIO**	**COSTO**
PLANTA ASFALTICA CEDARAPIS 120 TON.	0	1	137.14	0.442
PLANTA ELECTRICA 175 KVA	260	1	29.22	0.094
TERMINADORA DE ASFALTO BARBER-GREENE BG-210	107	1	88.91	0.287
RODILLO VIBRATORIO LISO CS-431	107	1	29.14	0.094
RODILLO NEUMATICO PS-100	77	1	35.72	0.115
CARGADORA FRONTAL CAT 926E	110	1	25.29	0.082
SUBTOTAL EQUIPOS				**1.114**

B:- MANO DE OBRA	**OTROS**	**SALARIO BASICO**	**F.S.R.**	**Nº**	**SALARIO**	**COSTO**
Acabadora Pav. Asfáltico	0.25	1.000	2.940	1	3.190	0.010
Planta asfáltica	0.25	1.000	3.020	1	3.270	0.011
Cargadora frontal	0.25	1.000	3.020	1	3.270	0.011
Rodillo autopropulsado	0.25	1.000	2.940	2	3.190	0.021
Ayudante maquinaria	0.25	1.000	2.860	2	3.110	0.020
Maestro de obra	0.25	1.000	2.940	1	3.190	0.010
Peón	0.25	1.000	2.780	10	3.030	0.098
SUBTOTAL MANO DE OBRA						**0.180**

C:- HERRAMIENTAS		
HERRAMIENTAS MANUALES	0.1	**0.018**

D:- MATERIALES	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**COSTO**
ASFALTO (ESMERALDAS)	LTS	7.2000	0.288	2.076
MATERIAL PARA CARPETA	M3	0.0700	8.000	0.560
DIESEL	LTS	1.5000	0.245	0.368
ADITIVO DE ADHERENCIA	LTS	0.0680	4.675	0.318
SUBTOTAL DE MATERIALES				**3.322**

E:- TRANSPORTE	**UNIDAD**	**DISTANCIA**	**COSTO/KM**	**CANTIDAD**	**COSTO**
ASFALTO (ESMERALDAS)	LTS	670.200	0.00010	7.2	0.483
SUBTOTAL DE TRANSPORTE					**0.483**

COSTO DIRECTO			**5.117**
COSTO INDIRECTO	G. Generales	0.08	0.409
	Utilidades	0.08	0.409
	Imprevistos	0.03	0.153
	Impuestos	0.028679	0.175
PRECIO UNITARIO			6.263
PRECIO UNITARIO OFERTADO			**6.26**

Figura No. 5.21 APU Capa de Rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta 0.05 m

Se toma un ancho transversal promedio de 10.00 metros para toda la longitud de la Ruta E28. Este valor promedio, será utilizado para calcular los volúmenes de trabajo en los cuales intervendrán el análisis de precios unitarios.

Tabla No. 5.16 Volumen de trabajo a rehabilitar

Longitud (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen de Trabajo (m^3)
54000	10.00	0.05	27000

Tabla No. 5.17 Costo por trabajos de fresado

Volumen de Trabajo (m^3)	APU Fresado por (m^3)	TOTAL
27000	14.56	$ 393,120.00

Tabla No. 5.18 Costo por trabajos de tendido de carpeta asfáltica

Área de Trabajo (m^2)	APU Tendido CA (m^2)	TOTAL
540000	6.26	$ 3,380,400.00

El costo total de inversión para realizar la rehabilitación de los sectores críticos de la Ruta E28, asciende a $ 3,773,520.00 (dólares de los Estados Unidos), donde el presupuesto empleado en fresar la carpeta asfáltica representa el 11.63% del total a utilizarse.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Una vez realizadas las pruebas de Precisión / Repetibilidad en el tramo seleccionado de la Ruta E28 “Mitad del Mundo–La Independencia”, por las condiciones encontradas in situ y la interacción humano - máquina, se deduce que, el láser de la huella derecha corresponde a un clase II y el láser de la huella izquierda corresponde a un clase I, de acuerdo a la Norma Americana ASTM E950-09.
- Este estudio no presenta una clasificación de Sesgo, debido a que la nivelación realizada no es comparable con los datos que el perfilómetro inercial reporta, ya que, cuando se obtiene un perfil longitudinal mediante equipos estacionarios no se puede aplicar los filtros necesarios para poder corregir el perfil obtenido en campo y compararlo con los datos del perfilómetro inercial.
- El equipo “Perfilómetro Inercial Mark III - Dynatest”, corresponde a un perfilómetro clase I, de acuerdo a la Norma Americana ASTM E 950-09, ya que cumple con los parámetros pre-establecidos de muestreo longitudinal y resolución de medida vertical. (Ver Figuras 3.37 y 3.38)
- El Índice de Rugosidad Internacional se calculó para los dos sentidos de la Ruta E28, teniendo un valor de 1.65 m/km para el sentido Mitad del Mundo–La Independencia y, 1.66 m/km para el sentido La Independencia–Mitad del Mundo. (Ver Tablas Nos. 5.1 y 5.2).

- Cuando se calculó el Índice de Rugosidad Internacional, se planteó evaluar el cambio al que es sujeto la rugosidad dependiendo la longitud de análisis. Los resultados obtenidos son los esperados ya que al aumentar 100 metros en la longitud inicial de análisis, los resultados característicos obtenidos decrecen en un 17%, esto también se lo puede observar gráficamente ya que las escalas de IRI de las Figuras Nos. 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 decrecen 2 m/km y 4 m/km respectivamente. De manera similar, se producen reducciones características del 43% y 65% cuando se aumenta 400 metros y 900 metros a la longitud inicial de análisis.
- Se debe tener claro que mientras mayor sea la distancia en la que se realice el análisis de la rugosidad, la caracterización de los datos se reducirá, pero el promedio será el mismo ya sea analizando cada 100 metros o cada 1 kilómetro. (Ver Tablas Nos. 5.1 y 5.2)
- De acuerdo a la Escala Estándar empleada por el Banco Mundial, donde se clasifica a las vías de acuerdo a la rugosidad, la Ruta E28, con un valor promedio de 1.66 m/km para los dos sentidos, se encuentra en el rango más alto de clasificación (Aeropuerto–Autopista o como un Nuevo Pavimento).
- Comparando el Índice de Rugosidad Internacional obtenido con el Documento Técnico del MOP, se concluye que la Ruta E28, cumple satisfactoriamente la normativa de 2 m/km a 3 m/km impuesta para un TPDA mayor a 5000 vehículos.
- Como plan de rehabilitación en la Ruta E28, se han determinado los sectores donde el Índice de Rugosidad Internacional supera el límite

establecido por el Documento Técnico del MOP, (Ver Tablas Nos. 5.14 y 5.15). Para los tramos antes mencionados, en las tablas se propone realizar un fresado y reposición de carpeta asfáltica de 5 centímetros, con lo que se pretende mejorar la rugosidad. El costo de la rehabilitación alcanza un total de $ 3,773,520.00 (dólares de los Estados Unidos), para determinar el costo se utilizó los APU del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Unidad de Estudios–Área de Costos.

6.2 Recomendaciones

- Para que la prueba de Precisión y Repetibilidad pueda alcanzar los niveles deseados, que es ser considerado un Perfilómetro Clase I, el tramo de prueba a seleccionar deberá ser de preferencia un pavimento nuevo, sin curvas y de longitud mayor a 800 metros, donde se pueda alcanzar la velocidad establecida por la norma.

  Adicionalmente se deberá verificar que el pavimento no presente ondulaciones propias por el tránsito diario de los vehículos, ya que las lecturas del perfil se las realiza en las huellas del camino.
- Para realizar una comprobación en perfilómetros inerciales por Sesgo (Bias), donde es imprescindible utilizar un perfil longitudinal y que este estudio no lo realizó, debido al factor económico y de disponibilidad en el área, se recomienda utilizar el equipo Dipstick ® Profiler[14] el cual fue introducido en el año de 1982.
- En el estudio se realizaron varios análisis sobre el efecto del Índice de Rugosidad Internacional en base a la longitud analizada debido que, como se muestra en las Figuras Nos. 4.19 y 4.20 si es posible tener rugosidades menores a 1.50 m/km y es ahí a donde se debería llegar, se debe siempre tender a bajar los parámetros establecidos por los Ministerios de Transporte y no quedar satisfechos si el IRI promedio pasa los límites establecidos en los términos de licitación de la obra.
- Este estudio luego de analizar minuciosamente los cálculos

[14] Face Construction Technologies, Inc. Recuperado el 09 de Septiembre de 2013, de http://www.dipstick.com

realizados, determina que cuando se realicen los chequeos necesarios para entrega–recepción de obras pavimentadas, se establezca que el intervalo en el cual será evaluada la rugosidad sea de 100 metros (1 hectómetro), ya que de esa forma se obtendrá una mayor caracterización de los niveles presentados por el contratista y se podrá dar los correctivos necesarios ese momento, porque si seguimos basándonos a que la rugosidad promedio de la carretera es la que debe cumplir con el límite autorizado, no se está permitiendo un avance en las técnicas constructivas que se llevan en la actualidad.

6.3 Bibliografía

- OWNER´S MANUAL (s.f), Road Surface Profiler Test Systems, DYNATEST 5051 Mark III / IV, Version 2.5.0.
- SISTEMA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS (2004), Versión 2.0, Publicación Técnica No 245 – Sanfandila. Recuperado el Marzo de 2013, de http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt245.pdf
- The Little Book of Profiling (1998), Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profilers. Michael W. Sayers – Steven M. Karamihas. Recuperado el Marzo de 2013, de http://www.umtri.umich.edu/content/LittleBook98R.pdf
- WORLD BANK TECHNICAL PAPER NUMBER 46 (1986), Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, and William D. O. Paterson. Recuperado el Marzo de 2013, de http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/3133/72764.pdf?sequence=2
- ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO (1998), Publicación Técnica No 108 – Sanfandila. Recuperado de Marzo de 2013, de http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf
- USO DEL PERFILÓMETRO INERCIAL CON SENSORES LÁSER PARA LA DETERMINACIÓN DEL IRI Y SUS APLICACIONES EN LA

INGENIERÍA VIAL (2005), Karla Pérez Loarca, Guatemala. Recuperado de http:///biblioteca.usac.edu. gt/tesis /08/08_2544_C.pdf

- VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE PERFILES DE PAVIMENTOS, ProVAL (2012). Recuperado de Marzo de 2013, de http://www.roadprofile.com/download/ProVAL-Intro-Spanish.pdf

BIOGRAFÍA

DATOS PERSONALES

APELLIDOS: MANOSALVAS PAREDES

NOMBRES: MARIO ALEJANDRO

LUGAR DE NACIMIENTO: Quito

FECHA DE NACIMIENTO: 10 de Diciembre de 1988

ESTADO CIVIL: Soltero

DIRECCIÓN: Urbanización Oasis calle San Agustín Oe4-160 y Santa Mónica

TELÉFONO: 099-4237631 / 098-3513542 / 022-394888

E-MAIL: m-manosalvas@promanvial.com.ec

FORMACIÓN ACADÉMICA

ESTUDIOS PRIMARIOS: Unidad Educativa Particular Charles Darwin

ESTUDIOS SECUNDARIOS: Colegio Municipal Experimental “Sebastián de Benalcázar” (Físico – Matemáticas).

Cochrane-Fountain City School, Alma WI, USA.

ESTUDIOS SUPERIORES: Universidad Fuerzas Armadas – ESPE, Carrera de Ingeniería Civil.

TÍTULO OBTENIDO: Egresado de Ingeniero Civil.

CAPACITACIÓN

- **Curso:** Análisis de Estructuras en SAP2000; Colegio de Ingenieros

Civiles de Pichincha. Quito – Ecuador.

- **Curso:** Bolsa de Valores de Quito; conferencia “Teórico – Práctica” en la simulación bursátil El Juego de la Bolsa. Quito – Ecuador.
- **Curso:** Manejo de Equipo Heavy Weight Deflectometer HWD – Dynatest. Quito – Ecuador.
- **Curso:** Manejo de Equipo Road Surface Profiler Mark III RSP – Dynatest. Quito – Ecuador, Stark, Florida – USA.
- **Curso:** Manejo de Equipo Ground Penetrating Radar GPR – GSSI. Salem, New Hampshire – USA.
- **Curso:** Manejo de Equipo Mu-Meter – Douglas. Quito – Ecuador.
- **Curso:** Manejo del Software para evaluación de Pavimentos ELMOD6 dictado por el PhD Erwin Kohler de Chile. Quito - Ecuador

EXPERIENCIA PROFESIONAL

- Residente de Obra Constructora Castillo – Paredes, Pasantías.
- PROMANVIAL – GEOPLADES, Medición de la Red Vial Estatal Ecuatoriana longitud 9000 kilómetros.
- Evaluación Funcional, Proyecto Ambato – El Arenal Provincia de Tungurahua longitud 40 kilómetros.
- Evaluación Funcional mediante Norma Americana LTPP, Proyecto Cuenca – Puerto Inca Provincia del Azuay longitud 160 kilómetros.
- Consultora Vial PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA., dos años de experiencia, asistente técnico de Ingeniería, cargo actual.

IDIOMAS

- Español
- Inglés – Suficiencia del Idioma Inglés; Escuela Politécnica del Ejército
- Portugués – Instituto Brasileiro - Equatoriano de Cultura (IBEC)

REFERENCIAS

Ing. Isaac Trujillo J.

Presidente en PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA., Ecuador.

02 2 503382

Ing. Daniel Ibarra R.

Representante para América del Sur en DOUGLAS – CURTISS WRIGHT, México.

00 52 (791) 913 6165

Ing. Paola Valenzuela C.

Coordinadora de Proyectos en GeoPlaDes, Ecuador.

02 2 565471

Ing. Marcelo Veas D.

Jefe de Producción y Servicio en Dynatest Perú, Perú.

00 51 (959) 511 960

Randy Milton

Production Manager at Dynatest Consulting Inc., USA.

00 1 (904) 964 3777